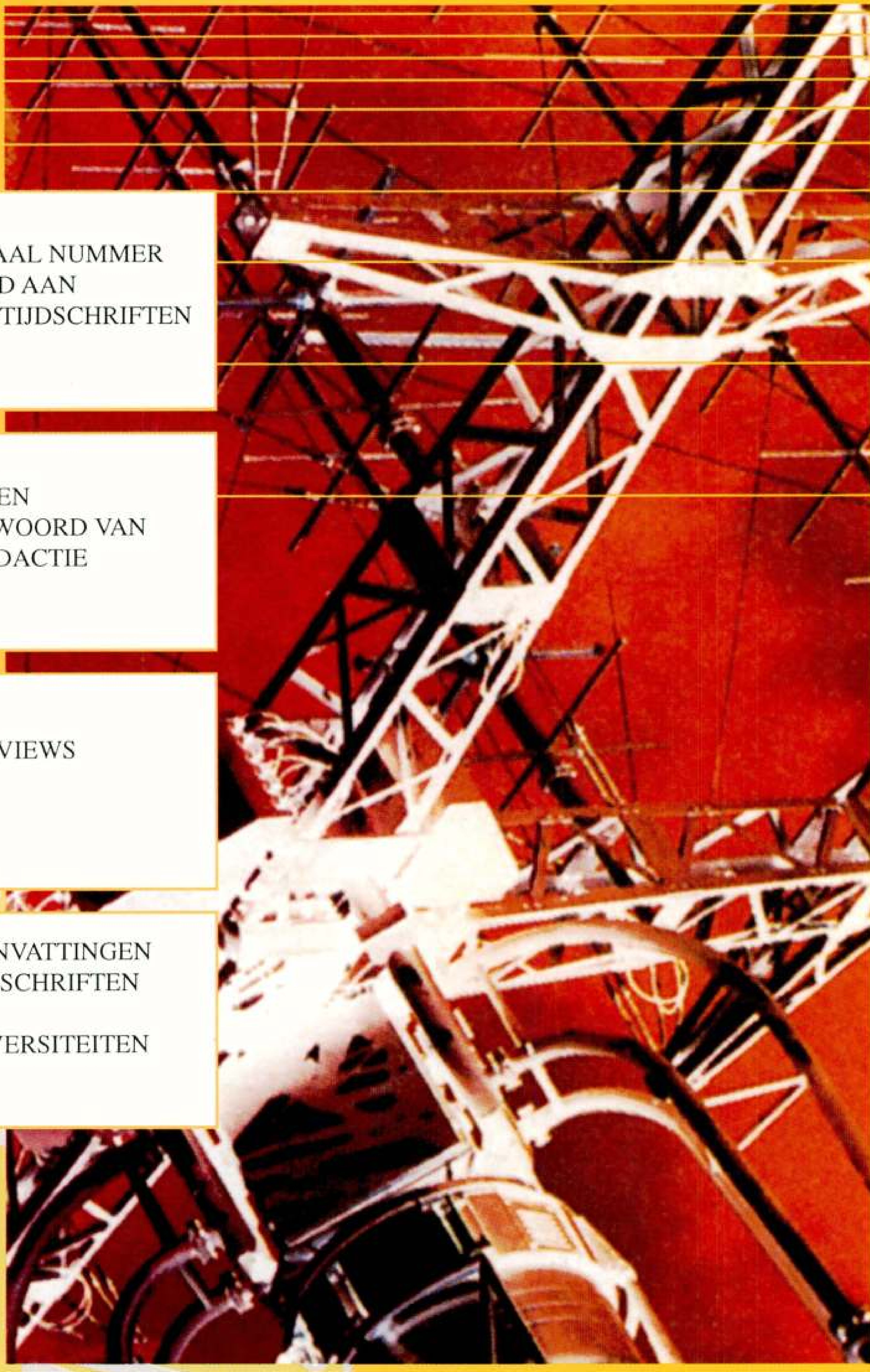
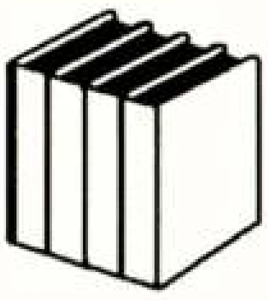
NERG

jaargang 63 nr 5 1998





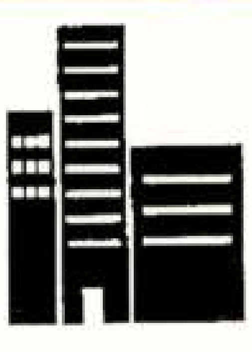
SPECIAAL NUMMER
GEWIJD AAN
PROEFTIJDSCHRIFTEN



MET EEN
VOORWOORD VAN
DE REDACTIE



INTERVIEWS



SAMENVATTINGEN
PROEFSCHRIFTEN
VAN
3 UNIVERSITEITEN

Tijdschrift van het nederlands elektronica- en radiogenootschap

nederlands elektronica- en radiogenootschap

Nederlands Elektronica- en Radiogenootschap
Correspondentie-adres: Postbus 39, 2260 AA Leidschendam.
e-mail secretariaat : secretariaat@nerg.nl
Gironummer 94746 t.n.v. Penningmeester NERG, Leidschendam.

HET GENOOTSCHAP

Het Nederlands Elektronica- en Radiogenootschap (NERG) is een wetenschappelijke vereniging, gericht op elektronica, telecommunicatie en informatieverwerking.
Het doel van het NERG is om het wetenschappelijk onderzoek op deze gebieden te bevorderen en de verbreiding en toepassing van de verworven kennis te stimuleren.
(Internet WWW-site: http:// www.nerg.nl)

LIDMAATSCHAP

Voor het lidmaatschap wende men zich via het correspondentie-adres tot de secretaris. Het lidmaatschap van het NERG staat open voor academisch gegradueerden en anderen, die door hun kennis en ervaring bij kunnen dragen aan het genootschap. De jaarlijkse contributie bedraagt voor gewone leden *f* 75,- en voor junior leden *f* 39,-. Bij automatische incasso wordt *f* 3,- korting verleend.
Gevorderde 1e fase studenten en 2e fase studenten komen in aanmerking voor het junior lidmaatschap en kunnen daartoe contact opnemen met de contactpersoon op hun universiteit.
In bepaalde gevallen kunnen ook andere leden, na overleg met de penningmeester, voor een gereduceerde contributie in aanmerking komen.
De contributie is inclusief abonnement op het Tijdschrift van het NERG en deelname aan vergaderingen, lezingen en excursies.

HET TIJDSCHRIFT

Het tijdschrift verschijnt gemiddeld vijf maal per jaar . Opgenomen worden artikelen op het gebied van de elektronica en de telecommunicatie. Auteurs, die publicatie van hun onderzoek in het tijdschrift overwegen, wordt verzocht vroegtijdig contact op te nemen met de hoofdredacteur of een lid van de redactiecommissie.

ISSN 03743853

VAN DE REDACTIE

Sinds het jaar 1988 is het laatste nummer van een jaargang van dit Tijdschrift een speciaal nummer, dat aan de samenvattingen van proefschriften wordt gewijd die in het voorgaande cursusjaar aan de drie Elektrotechnische Faculteiten in Nederland verschenen. In 1988 werd dit eerst als proef ingevoerd en werd aan de lezers gevraagd of zij toezending van dit speciale nummer op prijs stelden. Er bleek voldoende belangstelling te bestaan, zodat daarmee werd doorgegaan.

In de huidige redactiecommissie was er toch enige twijfel of dit nu de juiste formule was en werd nagedacht over een andere vorm, die wellicht een groter aantal lezers zou aanspreken. Met dit nummer werd een poging daartoe gedaan.

U treft hierin de interviews aan die we hebben gehouden met twee promovendi en daarmee zetten we de schijnwerpers eens op interessante onderzoeken en op de mensen er achter.

Voorts zijn we afgeweken van de traditie om de proefschriften te rangschikken naar de chronologische volgorde van de promotiedatum, en is een indeling naar onderwerpen gemaakt. We konden dit keer nog niet al onze wensen realiseren, maar we hopen dat we op de goede weg zijn om ook het laatste nummer van de jaargang aantrekkelijker te maken.

Uw reakties hierop zijn zeer welkom evenals uw eventuele suggesties voor verbeteringen.

Wanneer u geïnteresseerd bent in een proefschrift kunt u dat inzien bij de bibliotheek van de betreffende universiteit. Vaak kunt u daar ook eigen een exemplaar van het proefschrift verkrijgen, na het indienen van een schriftelijk verzoek. Onderstaand vindt u de adressen.

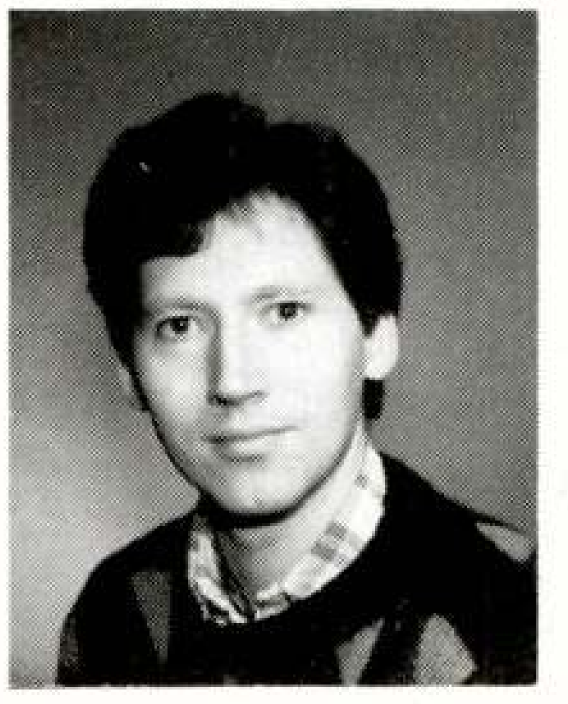
Centrale Bibliotheek TUD
Afdeling Periodieken en Ruil
Schuttersverld 2
2611 WE DELFT

Centrale Bibliotheek TUE
Postbus 513
5600 MB EINDHOVEN

Bureau Universiteitsbibliotheek Twente
Postbus 217
7500 AE ENSCHEDE.

Interview met dr.ir. G.J.M. Janssen

naar aanleiding van zijn promotie op 16 juni 1998 aan de TU Delft.



Zijn proefschrift draagt de titel:

"Robust receiver techniques for interference-limited radio channels".

Op deze kamer gelegen op de 15ᵉ verdieping van het gebouw voor Informatie Technologie en Systemen (vroeger Elektrotechniek) van de TU Delft kunt u de bezoeker laten genieten van het fraaie uitzicht. Maar ik ben nu gekomen om u een aantal vragen te stellen naar aanleiding van uw proefschrift.
Door de titel ervan werd in het bijzonder onze belangstelling gewekt. Onze gedachte was daarbij, dat iemand die van dit onderwerp zo'n diepgaande studie maakt, waarschijnlijk wel een bijzondere affiniteit met de radiotechniek zou hebben. Kunt u daarover iets zeggen ?

Ik vind het leuk dat u die vraag stelt, want mijn belangstelling voor radio- en TV techniek is inderdaad al in mijn jeugd ontstaan. Op 11-jarige leeftijd kwam ik in het bezit van een oud, niet meer werkend Philips TV toestel. Na vervanging van enkele buizen deed hij het weer en spoedig daarna merkte ik dat ik een Portugese zender kon ontvangen. Dit was mogelijk door reflectie van het signaal in de ionosfeer; maar dat wist ik toen nog niet. Daarna nam mijn interesse alleen nog maar toe en kon ik, nadat ik mij had aangesloten bij een groepje geestverwanten, bij tal van experimenten de effecten van reflecties, fading en interferentie aan den lijve ondervinden. Het was dan ook niet vreemd dat ik na de middelbare school met de studie elektrotechniek begon aan de TH in Eindhoven. Deze periode, die duurde van 1979 tot 1986, heb ik als heel plezierig ervaren. Mijn afstudeeronderwerp betrof het terugwinnen van het draaggolfsignaal en de dataklok uit een BPSK (Binary Phase Shift Keying) signaal op basis van remodulatie. Het bleek dat deze techniek niet alleen heel robuust is bij aanwezigheid van veel ruis, maar ook in geval van interferentie. Het onderwerp interferentie houdt mij dus al langere tijd bezig. Mijn belangstelling voor de meer praktische kant verloor ik daarbij niet uit het oog. Tijdens het afstuderen heb ik de BPSK ontvanger ook gebouwd zodat de theorie van remodulatie ook getoetst kon worden.

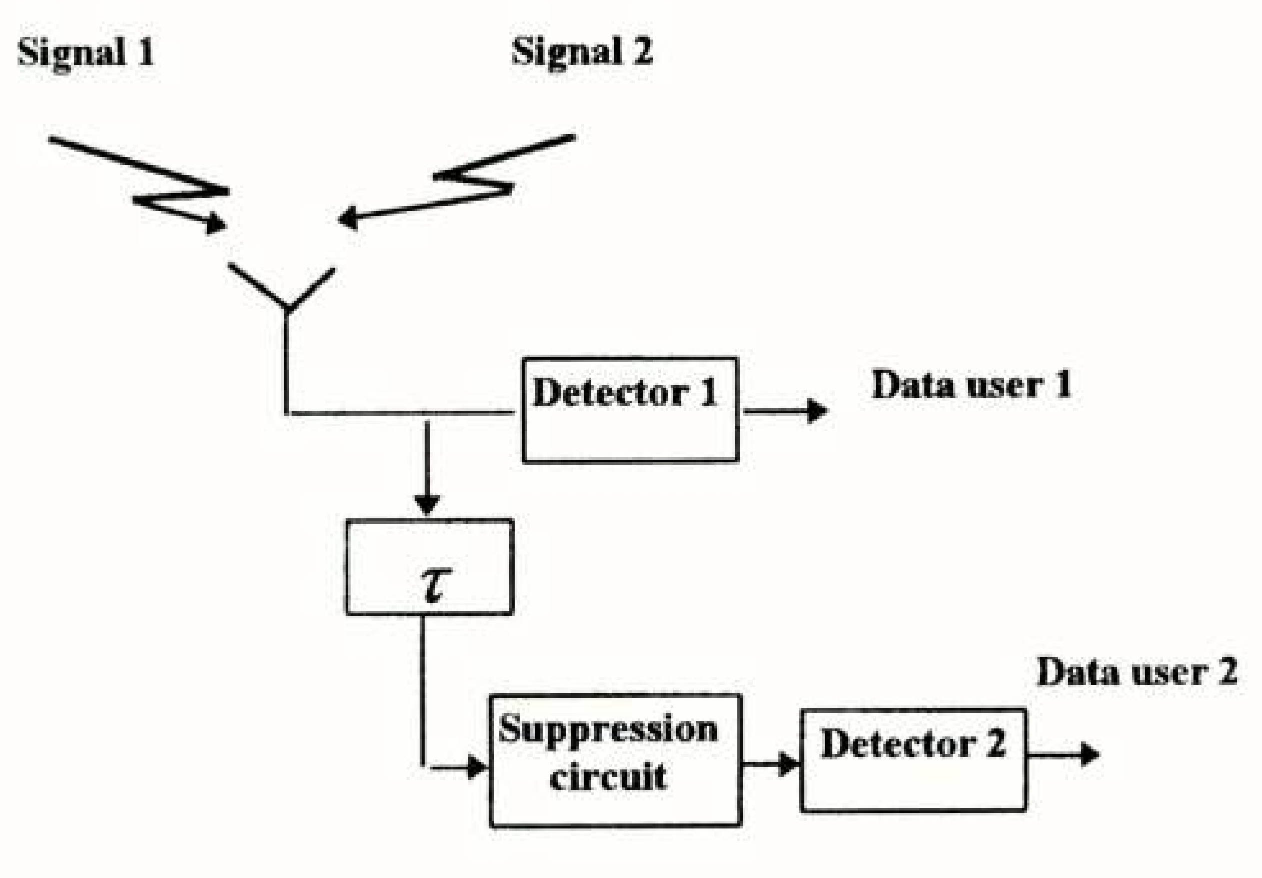
Kunt u met betrekking tot uw promotie-onderzoek aangeven of er daardoor nieuwe inzichten zijn ontstaan, of betreft dit meer een verbetering of optimalisatie van reeds bekende methoden of technieken ?

Mijn promotie-onderzoek was gericht op ontvangertechnieken die bestand zijn tegen interferentie, zoals dat bijvoorbeeld voorkomt in moderne radio-netwerken voor mobiele telefonie. Hierbij zijn twee vormen van interferentie bekeken. Interferentie veroorzaakt door andere signalen op dezelfde frequentie, bijvoorbeeld door het hergebruik van deze frequentie in een naburige 'cel' van het radio-netwerk. Daarnaast heb ik mij gericht op een andere vorm van interferentie die optreedt in een multipad kanaal waarin het radiosignaal de ontvangst antenne niet alleen via de directe weg bereikt, maar ook via omwegen ten gevolge van reflecties. Door deze omwegen komt het signaal met verschillende tijdvertragingen aan. Vooral bij hoge datasnelheden waarbij deze tijdvertragingen in de orde van de symbooltijd komen, leidt deze tijddispersie tot een slechtere ontvangst door het optreden van intersymboolinterferentie.
Bekende technieken die het effect van

intersymboolinterferentie tegengaan, zoals het toepassen van equalisers, hebben hun beperkingen; met name de signaal-ruisverhouding wordt daardoor slechter.
Door in plaats van één antenne meerdere antennes toe te passen (antenne diversiteit), kan het effect van intersymboolinterferentie aanzienlijk verminderd worden, terwijl de signaal-ruisverhouding wordt verhoogd. Men spreekt hierbij van micro-diversity wanneer de antenne-elementen op een onderlinge afstand staan in de grootte-orde van de golflengte van de draaggolf; zeker voor het microgolfgebied en hoger is dit een aantrekkelijke methode.
Op uw vraag of ik daarvoor ook nieuwe elementen heb aangedragen, kan ik noemen:

- een berekeningsmethode voor het bepalen van de ontvangstkwaliteit op basis van de bitfoutenkans bij intersymboolinterferentie
- een ontvangsttechniek waarbij twee signalen die van dezelfde frequentie gebruik maken tegelijkertijd kunnen worden ontvangen.

Het principe hiervan is in onderstaand schema weergegeven.



Dit kan in het kort als volgt worden toegelicht. Twee signalen zijn gelijktijdig op de ingang van de ontvanger aanwezig. De ontvanger is gebaseerd op demodulatie en het maken van een nauwkeurige schatting van het sterkste signaal. Dat heeft o.a. betrekking op het terugwinnen van de draaggolffase, het kloktijdstip van de data en de data zelf. Deze schatting wordt vervolgens gebruikt om het ingangssignaal zodanig te bewerken, dat het sterkste signaal wordt onderdrukt waarna het zwakste signaal gedemoduleerd kan worden. Men kan dit principe op twee verschillende manieren toepassen:

- om een gewenst signaal te scheiden van een storend signaal,
- voor de gelijktijdige ontvangst van twee gewenste signalen.

Door toepassing van meerdere antennes is het mogelijk twee signalen in een radio kanaal te laten werken zonder dat ze last van elkaar hebben. Dit betekent dus een verdubbeling van de systeemcapaciteit.
Er wordt hier dus geen gebruik gemaakt van spread spectrum technieken zoals CDMA (Code Division Multiple Access), die normaal worden toegepast om meerdere signalen in dezelfde frequentieband te laten werken.
Wanneer men met betrekking tot het voorgaande bedenkt, dat men bij de 3^{e} generatie systemen voor mobiele communicatie de efficiency van het frequentiegebruik nog aanzienlijk wil verbeteren, is daarmee aangegeven dat er zeker behoefte is aan een beter inzicht in de optredende fenomenen en zo mogelijk aan verbeterde methoden voor signaalontvangst en -detectie.

Er is een steeds toenemende behoefte aan mobiele communicatie terwijl de beschikbare en bruikbare bandbreedte hiervoor beperkt is. De ontwerpers richten zich dan ook systemen die een zo groot mogelijke efficientie mogelijk maken. Er wordt thans door de TU Delft deelgenomen in het FRAMES project dat een onderdeel vormt van het door de Europese Gemeenschap gesubsidieerd ACTS (Advanced Communications Technologies and Services) programma. Het FRAMES-project richt zich op de 3^{e} generatie mobiele communicatie-systemen: de opvolger van GSM. De standaard die hieruit is voortgekomen, is gebaseerd op CDMA. Tevens biedt deze standaard de mogelijkheid om diensten met verschillende datasnelheden op een flexibele manier toe te wijzen. Daarbij kan men nog een afweging maken tussen een betere bestendigheid tegen storing en een hogere capaciteit van het netwerk.

Op welk moment in het onderzoek had u het gevoel de totale problematiek te overzien die u wilde behandelen ?

Daartoe wil ik u iets meer vertellen over mijn loopbaan tot nu toe. Na mijn afstuderen aan de TH-Eindhoven was ik werkzaam bij het Fysisch- en Elektronisch Laboratorium (FEL) van TNO. Ik deed daar onder andere propagatiemetingen aan multipad kanalen in de band van 2.4 - 12 GHz-band. In 1992 kwam ik als vaste medewerker in dienst bij de TU Delft en kreeg ik de gelegenheid mijn onderzoek

voort te zetten. Een logisch vervolg op de kanaalmetingen was het ontwikkelen van een model voor het bepalen van de bitfoutenkans bij hoge datasnelheden en het toepassen van meer-antennetechnieken om de prestaties verder te verbeteren. De 2-signalen ontvanger is eigenlijk een vervolg op mijn afstudeerwerk. De onderwerpen zijn dus eigenlijk op een min of meer natuurlijke wijze gegroeid. Na ongeveer 1,5 jaar had ik het gevoel dat de verschillende onderwerpen één afgerond promotieonderzoek begonnen te vormen.

Is het onderzoek nu afgesloten of komt er nog een vervolg?

Het onderzoek aan de 2-signalenontvanger wordt op dit moment door twee promovendi voortgezet binnen het door STW gefinancierde Multi-User Receivers (MURX) project. Hierbij wordt ook gekeken naar uitbreiding van het aantal signalen dat tegelijkertijd kan worden ontvangen. De nauwkeurigheid waarmee je signaalparameters kunt schatten is cruciaal voor de goede werking van zo'n ontvanger. Hier wordt dan ook veel aandacht aan besteed. Verder wordt een demonstratiesysteem ontwikkeld waarmee de werking van de ontvanger in de praktijk verder kan worden onderzocht.

Neemt het praktische experiment eigenlijk nog wel een belangrijke plaats in bij het wetenschappelijk onderzoek ?

Het is heel belangrijk dat een theoretisch model in de praktijk gevalideerd wordt; anderzijds ben ik van mening dat je met een goede simulatie ook een heel eind kunt komen. Twee problemen waar je bij het praktische experiment tegenaan loopt zijn: 1. Het is zeer tijdrovend en 2. mensen met ervaring op radiofrequent gebied, die nodig is voor het bouwen van de verschillende ontvanger componenten, worden steeds zeldzamer. Een van de doelstellingen van het MURX-project is het demonstreren van de 2-signalen ontvanger in de praktijk.

Is er bij de industrie belangstelling voor uw onderzoek ?

Het STW-project wordt twee maal per jaar geëvalueerd. Hierbij is ook een gebruikersgroep betrokken die geïnteresseerd is in de resultaten van dit onderzoek. De leden van deze groep zijn afkomstig van leveranciers van telecomdiensten, industriën van telecomapparatuur en enkele universiteiten.

Heeft u bepaalde verwachtingen van uw loopbaan ? Denkt u bijvoorbeeld nog eens de overstap naar het bedrijfsleven te maken ?

Ik werk nu 6 jaar aan de TU Delft en voel me nog steeds sterk aangetrokken tot het doen van onderzoek. Samen met studenten nieuwe onderzoeks-resultaten behalen is voor mij heel motiverend. Daarnaast bevalt mij de werksfeer met de relatief grote vrijheid die je bij een universiteit hebt, heel goed. Op dit moment heb ik geen concrete plannen voor een overstap naar het bedrijfsleven, maar wie weet wat de toekomst in petto heeft.

Mogen we met u ook eens een blik vooruit werpen door te vragen waarop het onderzoek op het gebied van de mobiele communicatie zich in de komende jaren zal richten ?

Ik verwacht dat er op dit gebied nog vele nieuwe toepassingen zullen komen en dat zal onder meer onderzoek vragen naar:

- een efficiënter gebruik van de frequenties; met name door toepassing van meerdere antennes kan hierin nog veel winst geboekt worden.
- systemen voor communicatie met hoge datasnelheden (zowel voor in gebouwen als daarbuiten) in het frequentiegebied boven de 2 GHz; ik ben betrokken bij het interfacultair-project UBICOM, een cellulair communicatie-systeem voor 155 Mb/s op 17 GHz. Met zo'n systeem behoren virtual reality toepassingen tot de mogelijkheden.
- controle- en bedieningsapplicaties binnen de muren van een gebouw; een radioverbinding is daar vaak aantrekkelijker: sneller en goedkoper op de zetten dan een kabelaansluiting.

En waar naderen we de grenzen ?

Dan moeten we denken aan de toename van het mobiele verkeer, waardoor er capaciteits-problemen gaan ontstaan. Men kan de capaciteit vergroten door de geografische afmetingen van de cellen kleiner te maken; maar daaraan wordt vanwege de dan toenemende kans op interferenties zeker een grens gesteld. Een ander aspect is dat de hogere datasnelheden de benodigde bandbreedte en het vermogen toeneemt. Dit maakt het wenselijk het draadloze traject zo kort te houden en zo snel mogelijk onder de grond met kabel of glasvezel verder te gaan. Voor communicatie over grote afstanden en voor rurale gebieden is de satellietcommunicatie een optie. Het aantal gebruiker en de maximale datasnelheid is daarbij echter beperkt wegens de geringe capaciteit.

Voorts wil ik u graag nog enige vragen stellen over eventuele begeleiding of coaching tijdens uw onderzoek en hoe u die hebt ervaren.

Toen ik in 1992 bij de TU Delft in dienst kwam werd overeengekomen dat ik 50% van mijn tijd aan het onderzoek zou kunnen wijden en 50% aan onderwijstaken. Die onderwijs-activiteiten: het geven van colleges en instructies, doe ik in nauwe samenwerking met prof. Arnbak. Vanaf het begin van mijn onderzoek heb ik zelf de richting van het onderzoek kunnen bepalen. Ik heb daarover uiteraard wel goed kontakt gehad met mijn promotor, prof. J.C. Arnbak en co-promotor prof. R. Prasad.

En tenslotte: wilt u nog iets zeggen over uw privé omstandigheden en over uw vrijetijdsbesteding ?

Ik ben getrouwd en wij hebben een dochter. Naast de verschillende aspecten van radio ben ik geïnteresseerd in geluidsweergave (ook experimenteel voor zover de tijd dat toelaat) en verder ben ik als excursieleider en bestuurslid betrokken bij het IVN = Instituut voor Natuur- en Milieu-educatie in Zoetermeer.

Enige van de stellingen, behorende bij het proefschrift:

nr.5 Bij ontvangerontwerp voor kanalen met interferentie zijn twee scholen te onderscheiden: die waarbij de interferentie wordt aangepast aan de ontvanger door deze om te zetten in ruis, en die waarbij de ontvanger zich aanpast aan het kanaal met de daarin aanwezige signalen.

nr.8 Natuurbescherming is een noodzaak voor de mens, niet voor de natuur.

nr.12 Meten is weten, als je weet wat je meet.

---

22 november 1998
Arie Spanjersberg

Telecommunicatie

* * *

GEBIEDSGEORIËNTEERDE ANALYSE EN CODERING VAN STEREOSCOPISCHE BEELDREEKSEN

M. Ziegler
13 oktober 1997
Promotor: Prof. dr. ir. J. Biemond

De mens kan de wereld driedimensionaal zien dankzij het binoculaire gezichtsvermogen. Diepte kan worden "gezien" omdat er kleine verschillen zijn in de beelden die het linker- en rechteroog ontvangen. Bij computer vision nemen twee camera's de plaats in van de menselijke ogen, en simuleren op deze wijze het natuurlijke gezichtsvermogen. Dergelijke technische stereoscopische systemen zullen in toekomstige toepassingen op het gebied van de telecommunicatie, zoals telepresentatie, een steeds belangrijkere rol gaan spelen. De beschikbare bandbreedte voor de transmissie van videobeeldsignalen is beperkt. Daarom zal het nodig zijn de bitsnelheid te verlagen terwijl de beeldkwaliteit op aanvaardbaar niveau blijft De bitsnelheid wordt door datacompressietechnieken verlaagd waarbij enerzijds getracht wordt de benodigde grote bandbreedte en daarmee de transmissiekosten te minimaliseren, waarbij anderzijds aanvaardbare reconstructie van het beeld gewaarborgd blijft. In het geval van stereoscopische beelden wordt de oorspronkelijke bitsnelheid verdubbeld, aangezien er twee beelden worden verzonden in plaats van één. Dit maakt datacompressie nog meer noodzakelijk. Bij beelden die met twee camera's verkregen zijn, is er sprake van een verschuiving van informatie tussen het linker en rechter spatiële beeld van een stereoscopisch beeldenpaar. Deze verschuiving, ook wel *dispariteit* genoemd, is een uniek fenomeen voor stereoscopische beelden. Omdat dispariteit omgekeerd evenredig is met de diepte, kan het bij de analyse van stereoscopische beeldenparen worden gebruikt. In dit proefschrift wordt een nieuwe *coderingstechniek voor stereoscopische beeldreeksen* voorgesteld die gebruikt maakt van dispariteit. Het onderzoek dat tot dit proefschrift heeft geleid werd voornamelijk verricht in het kader van het Europese project DISTIMA (DIgital STereoscopic IMaging & Applications).

Gedurende de laatste jaren heeft objectgeoriënteerde codering -een nieuw coderingsconcept wereldwijd veel aandacht gekregen. Door vorm, beweging en kleur van de objecten in een beeld te verzenden, kunnen storende coderingsfouten ("mosquito" effecten, "blocking" artefacten) zoals die optreden bij blokgeoriënteerde hybride codering worden vermeden. Bovendien kunnen belangrijke beeldgebieden, zoals bijvoorbeeld de details van een gezicht in een teleconferentiesituatie, met een hogere beeldkwaliteit worden gereconstrueerd dan met blokgeoriënteerde hybride codering. Bewegende objecten vormen echter een groot probleem. Als twee afzonderlijke objecten naar elkaar toe bewegen, is het bij objectgeoriënteerde coderingstechnieken meestal niet bekend welk object zich voor het andere bevindt. Dit levert een grote coderingsfout op als bij de reconstructie van het beeld het verkeerde object wordt gekozen. Stereoscopische informatie verhelpt deze beperking van objectgeoriënteerde codering. Met behulp van diepteinformatie (geschat uit het stereoscopische signaal), kan gemakkelijk worden vastgesteld welk object het dichtste bij de camera en dus zichtbaar, is. Daarom is het aan te raden niet alleen de drie parameters: vorm kleur en beweging te coderen en te verzenden, maar deze te laten vergezellen van de vierde parameter: diepte of dispariteit. Met behulp van dispariteit kan de positie van een object in de ruimte worden vastgesteld. Echter, omdat de in dit proefschrift ontwikkelde coderingstechniek geen echte fysieke objecten gebruikt maar beeldgebieden die een zekere positie in de ruimte hebben maar niet noodzakelijkerwijs met fysieke objecten overeenkomen, spreken we in dit proefschrift van een *gebiedsgeoriënteerde* codeertechniek. Dit proefschrift beschrijft een *gebiedsgeoriënteerde stereoscopische coderingstechniek voor beeldreeksen,* die op de principes van beeldanalyse en -synthese is gebaseerd. Het bronmodel veronderstelt gebieden van willekeurige, maar wel vaste vorm die een translatorische beweging maken in plaats van een vaste

opdeling van het beeld in blokken van bijvoorbeeld 8x8 beeldpunten. Aan de zenderzijde worden deze gebieden gevonden door middel van segmentatie waarbij gebruik wordt gemaakt van bewegings- en dispariteitsvectoren. Elk gebied wordt vervolgens gekarakteriseerd door een set parameters (inclusief kleur, vorm, beweging en dispariteit). Diverse beeldanalysetechnieken worden ingezet om de parameters te bepalen. Voor het verlagen van de bitsnelheid worden de parameters vervolgens gecodeerd met behulp van standaard coderingstechnieken, zoals temporele en spatiele predictie en entropie-codering. Aan de ontvangerzijde wordt gebruik gemaakt van beeldsynthese om uit de gecodeerde parameters een beeld te reconstrueren en het overeenkomende ruimtelijke beeld in een stereoscopisch beeldenpaar.

De belangrijkste ontwikkelingen in dit proefschrift zijn:

- Een nauwkeurige *dispariteit- en bewegingsschatter* (op één beeldpunt nauwkeurig). Dit is nodig voor het segmenteren van de gebieden. In dit proefschrift wordt een dispariteitschatter ontwikkeld die zonder voorkennis van stereoscopische geometrie werkt en derhalve met nagenoeg elk stereoscopisch beeldenpaar kan omgaan. De voorgestelde methode voert een optimalisatie uit op basis van dynamisch programmeren. Een optimalisatiecriterium wordt voorgesteld dat gebruik maakt van intensiteitsverschillen tussen beeldpunten in het stereoscopische beeldpaar, uitgaande van een het vloeiend verloop van de dispariteit binnen gebieden, en dat tevens rekening houdt niet dispariteitsprongen en occlusies op de grenzen van verschillende gebieden. Uit de analyse blijkt dat de hieruit voortvloeiende vectorvelden tot op één beeldpunt nauwkeurig zijn, en van hoge kwaliteit. Deze velden vormen derhalve een goede basis voor de verdere verwerking zoals de segmentatie van de gebieden volgens hun dispariteit. De experimenten in dit proefschrift laten zien dat waarbij dynamisch programmeren niet alleen op dispariteitsschatting kan worden toegepast, maar ook de toepassing op bewegingsschatting van dezelfde methode resulteert in een hoogwaardig bewegingsvectorveld.

- *Beeldanalyse* van het linker beeld uit het stereoscopische paar gebaseerd op bovengenoemde dispariteits- en bewegingsvectorvelden. Allereerst worden initiële gebieden gesegmenteerd overeenkomstig het bronmodel. De segmentatie is uitsluitend gebaseerd op de dispariteits- en bewegingsvectorvelden. Nadat door samenvoeging een geschikt aantal gebieden is verkregen, worden voor elk van deze gebieden de vier vereiste parameters (dispariteit, beweging, vorm en kleur) berekend. De evaluatie laat de goede kwaliteit zien van de segmentatie van het beeld en de daaropvolgende beschrijving van de gebieden. Omdat de gebieden alleen worden gewijzigd als deze met nieuw gevonden gebieden in een volgend beeldpaar kunnen worden samengevoegd, kan temporele consistentie van het segmentatieresultaat in beeldreeksen worden verzekerd.

- *Beeldsynthese* wordt uitgevoerd met behulp van de in een gebiedsgeheugen opgeslagen parameters. Beeldsynthese is in feite een rechttoe, rechtaan proces dat betrekking heeft op de reconstructie van de gebieden vanuit de verzonden parameters en een juiste plaatsing hiervan in het beeld. Hierbij wordt bewegingscompensatie toegepast voor de linker beeldreeks en dispariteitscompensatie voor de rechter beelden. Evaluatie toont aan dat de beeldsynthese een gesynthetiseerd beeld oplevert van een hoge visuele kwaliteit. Het gebiedsgeheugen creëert de mogelijkheid voor het opbouwen van een database met daarin alle gebieden die zich voordoen in de beeldreeks. Hiermee kan de vereiste bitsnelheid verder verlaagd worden, bijvoorbeeld wanneer een eerder zichtbaar gebied achter een ander gebied is komen te liggen en vervolgens weer zichtbaar wordt.

Omdat de belangrijkste eis aan de coderingstechniek het verlagen is van het aantal te verzenden bits, moeten alle parameters efficiënt worden gecodeerd. Afhankelijk van de aard van de parameters worden verschillende *codeerstrategieën* gebruikt. Voor de parameters, die beweging, dispariteit en vorm beschrijven, wordt gebruik gemaakt van verliesvrije spatiele en temporele predictiemethoden. De kleurparameters worden met behulp van de z.g. vormadaptieve DCT gecodeerd. Zodoende kunnen willekeurig gevormde gebieden efficiënt worden beschreven. In het gesynthetiseerde beeld kunnen synthesefouten ontstaan als gevolg van onvolkomenheden in het bronmodel, bij occlusie, en als bij objectbewegingen de achtergrond vrij komt. Ondanks deze mogelijke synthesefouten toont een

informele subjectieve evaluatie aan dat de visuele kwaliteit van een individueel stereoscopisch beeldenpaar vergelijkbaar is met dat van een MPEG2-gecodeerd videosignaal, ook al vereist dit MPEG2 videosignaal een aanzienlijk hogere bitsnelheid dan de in dit proefschrift ontwikkelde gebiedsgeoriënteerde coderingstechniek. Als de kwaliteit van de gehele beeldreeks wordt beschouwd zonder toevoeging van de synthesefouten, kunnen verschillende inconsistenties in het temporele gedrag van de gebiedsgeoriënteerde coderingstechniek worden herkend. Deze inconsistenties leveren waarneembare artefacten op die na toevoeging van de synthesefouten kunnen worden gecorrigeerd. Deze artefacten kunnen worden veroorzaakt door onjuist samenvoegen van gebieden gedurende de beeldanalyse, door temporele schokken van de gebieden als gevolg van onjuiste bewegingsvectoren, en door een plotselinge verandering van de gebiedskleur als gevolg van een ontbrekende "update" van de gebiedsparameters op een bepaald moment. Voor het verhogen van de kwaliteit van de gecodeerde stereoscopische beeldreeks wordt daarom momenteel nog de (gecodeerde) synthesefout aan de gesynthetiseerde beelden toegevoegd. Dit zal echter niet langer nodig zijn wanneer de gebiedsparameters regelmatig worden geactualiseerd.

Zelfs bij rudimentaire codering van de synthesefout – eenvoudige vectorkwantisatie als de fout boven een drempel ligt – bereikt de gebiedsgeoriënteerde coderingstechniek een vergelijkbare subjectieve kwaliteit als bij gescheiden MPEG2-compressie van de twee stereoscopische kanalen op een gelijke totale bitsnelheid. Het onderzoek in dit proefschrift heeft alleen betrekking gehad op een model dat vaste twee-dimensionale gebieden veronderstelt die translatorische beweging kunnen ondergaan. Het blijft vooralsnog een open vraag of de efficiëntie van de parametercodering kan worden verhoogd als men gebruik maakt van een bronmodel dat uitgaat van flexibele twee- of drie-dimensionale gebieden. De coderingsefficiëntie van de synthesefout kan met behulp van een meer geavanceerde methode nog worden verhoogd, bijvoorbeeld door hierbij de gevonden gebiedsvormen te betrekken. In de naaste toekomst dient ook aandacht besteed te worden aan diverse algoritmische vraagstukken en mogelijke toepassingen van gebiedsgeoriënteerde stereoscopische coderingsmethoden. Het Europese project PANORAMA (PAckage for New OpeRational Autostereoscopic Multiview systems and Applications) is een belangrijk platform voor dit onderzoek.

LOW-POWER WIRELESS OPTICAL TRANSMISSION

R. Otte
3 maart 1998
Promotor: Prof. dr. ir. A.H.M. van Roermund

Dit proefschrift behandelt het ontwerp van draadloze optische transmissiesystemen voor toepassingen binnenshuis, op het gebied van communicatie, telemetrie en besturing. Het is bedoeld als een ontwerphandleiding. Het bevat ontwerpregels en bespreekt vele fundamentele en praktische beperkingen die optreden bij het ontwerp van een dergelijk systeem. De nadruk ligt op transmissie met een laag vermogensgebruik, omdat de systemen doorgaans gevoed worden uit een batterij. Hoofdstuk 1 leidt het onderwerp in, en hoofdstuk 2 geeft een overzicht van de ontwikkeling van draadloze optische transmissie. In hoofdstuk 3 worden methoden om de signaal-ruisverhouding van een draadloze optische verbinding te verbeteren besproken. Vanwege fundamentele en praktische moeilijkheden die optreden bij coherente detectietechnieken, spitst het hoofdstuk zich toe op architecturen die zijn gebaseerd op intensiteitsmodulatie en directe detectie. De systemen werken doorgaans in het nabije infrarood, omdat er in dit gebied vele geschikte emitters (LEDs en lasers), filters en silicium detectoren (fotodiodes) beschikbaar zijn. De voornaamste ruisbron is de hagelruis van de fotodiode, veroorzaakt door straling uit de omgeving. De signaal-ruisverhouding is evenredig met het oppervlak van de fotodiode. Componenten die het schijnbare oppervlak van de fotodiode kunnen vergroten, zogenaamde *concentrators*, kunnen de signaal-ruisverhouding vergroten, evenredig met het kwadraat van hun brekingsindex. Verdere verbetering is mogelijk door de openingshoek te verkleinen, wat leidt tot het concept van de zogenaamde *angular diversity* ontvangst. Diverse concentrators worden besproken. Uitgebreide aandacht wordt besteed aan de verstorende invloed van verlichting, bij gebrek aan literatuur over dit onderwerp. Behalve door het verhogen van het ruisniveau, kan verlichting ook door het flikkeren van de lampen de kwaliteit van de verbinding verslechteren.

In hoofdstuk 4 wordt de invloed van het front end van de ontvanger op de maximale snelheid en de betrouwbaarheid van de verbinding besproken. Bij de meest voorkomende niveaus van het omgevingslicht kan, binnen de kanaalbandbreedte, de ruis van het front end verwaarloosbaar gemaakt worden ten

opzichte van de hagelruis van de fotodiode, door te kiezen voor overall tegenkoppeling en een geoptimaliseerde FET ingangstransistor. Diverse optimalisatieprocedures worden besproken. De voorkeur gaat uit naar een stroomversterker omdat deze de mogelijkheid biedt tot het compenseren van parasitaire capaciteiten, aanwezig in het tegenkoppelnetwerk. Het maximaliseren van de bandbreedte is niet strijdig met het minimaliseren van de ruis. Het minimaliseren van het vermogensgebruik en het chipoppervlak is dat wel, tenzij ruisaanpassing door middel van een transformator mogelijk is. De ingang van het front end moet de gelijkstroom door de fotodiode, die het gevolg is van straling uit de omgeving, afvoeren. Ook moeten laagfrequente stoorsignalen worden onderdrukt. Dit wordt bereikt door het gebruik van een aparte instellus. In hoofdstuk 5 worden modulatiemethoden vergeleken op basis van het vereiste zendvermogen en de vereiste bandbreedte. Basisband modulatiemethoden met een lage duty cycle, zoals pulspositiemodulatie (PPM), laten het laagste vermogensgebruik toe. Er wordt beargumenteerd dat, binnen de klasse van basisbandmethoden, PPM relatief ongevoelig is voor laagfrequente stoorsignalen, zoals 'optische brom', die veroorzaakt wordt door het flikkeren van lampen. Op grond van het lage vereiste zendvermogen, ligt de nadruk in de volgende hoofdstukken verder op PPM als modulatiemethode. In hoofdstuk 6 wordt de gevoeligheid voor optische stoorsignalen nader onderzocht en gemodelleerd. Verder wordt er een eenvoudige, maar gevoelige demodulatorschakeling besproken, die de berekende bit error rate dicht benadert. Deze demodulator wordt gebruikt om de circuits die in het volgende hoofdstuk gepresenteerd worden, te testen. Omdat PPM ontvangers synchrone demodulatie vereisen, gaat hoofdstuk 7 over synchronisatie. Slotsynchronisatie door middel van een PLL met een geschikte voorbehandeling van het signaal wordt besproken. Dit leidt tot de definitie van de x-puls en x-frame PPM modulatiemethoden. Voor diverse slotsynchronisatoren die van x-puls PPM gebruik maken worden ontwerpregels afgeleid. Verder wordt er een framesynchronisator gepresenteerd die gebaseerd is op het maximum likelihood principe. Deze zorgt voor betrouwbare synchronisatie, zelfs bij hoge ruisniveaus, zonder dat extra synchronisatiepatronen in

het signaal opgenomen hoeven te worden. De haalbaarheid van PPM transmissie bij hoge ruisniveaus wordt aangetoond door het testen van een ontvanger die de systemen voor slotsynchronisatie en framesynchronisatie bevat.

HIGH-PERFORMANCE FREQUENCY_DEMODULATION SYSTEMS

M.H.L. Kouwenhoven
23 maart 1998
Promotor: Prof. dr. ir. A.H.M. van Roermund

Dit proefschrift beschrijft een gestructureerde methode voor het ontwerp van frequentiedemodulatoren (FM) met een hoge kwaliteit en een hoge gevoeligheid. Deze methode verschaft tevens inzicht in de verschillende principes die beschikbaar zijn voor de constructie van dergelijke demodulatoren, en in de maatregelen die in de demodulator en ontvanger architectuur kunnen worden getroffen ter verbetering van de ontvangstkwaliteit. Deze systemen vinden o.a. toepassing in autoradio's en diverse andere draadloze communicatie systemen. Een korte beschrijving van de geschiedenis van frequentie modulatie in Hoofdstuk 1 brengt aan het licht, dat een allesomvattend raamwerk, dat de verbanden tussen de verschillende typen demodulatoren aan elkaar en aan hun kwaliteit relateert, ontbreekt in de bestaande ontwerptheorie voor FM demodulatoren. Een dergelijk raamwerk, een classificatie, is onmisbaar in een gestructureerde ontwerpmethode. Verder is geconstateerd, dat het door theoretisch ingestelde wetenschappers verrichte werk vaak zodanig ver van de praktijk, uitgeoefend door elektronisch ontwerpers, ligt, dat er maar weinig gebruik van wordt gemaakt. Het doel van dit proefschrift is enerzijds een allesomvattend raamwerk voor het ontwerp van FM demodulatoren te ontwikkelen, en anderzijds de afstand tussen het theoretische werk en de praktijk van het elektronisch ontwerpen zo goed mogelijk te overbruggen. Hoofdstuk 2 beschrijft kort de hoofdkenmerken van FM transmissie en FM gemoduleerde signalen. Deze vormen de basis voor de beschouwingen in de daaropvolgende hoofdstukken van het proefschrift. Een quasi-stationaire benadering voor het frequentiespectrum van FM signalen, en de verbetering van de signaal-ruis verhouding, bewerkstelligd door kwadratische vervorming van het ingangsruisspectrum, worden in dit hoofdstuk behandeld.

Hoofdstuk 3 ontwikkelt een classificatie van alle mogelijke principes, beschikbaar voor het realiseren van FM demodulatie. Een kort overzicht van de principes van de gekozen aanpak maakt het grote belang van de eerdergenoemde classificatie daarin duidelijk. Het blijkt dat FM demodulatie in de directe zin, dus door detectie van de momentane frequentie van het FM signaal, onmogelijk is, om-

dat deze frequentie niet gerelateerd is aan de in het signaal opgeslagen energie. In plaats daarvan dient ten allen tijde een conversie naar AM of PM te worden gerealiseerd, gevolgd door AM demodulatie, dan wel PM demodulatie. Verder blijkt in dit verband, dat alleen AM demodulatie in de directe zin is toegestaan, terwijl PM demodulatie zowel in directe zin, als in indirecte zin, dus door middel van PM-AM conversie en daaropvolgend AM demodulatie, mag worden toegepast. De resulterende classificatie omvat twee sub-klassen gebaseerd op FM-AM conversie, vier sub-klassen gebaseerd op de combinatie FM-PM conversie en directe PM demodulatie, en drie sub-klassen gebaseerd op de combinatie van FM-PM conversie en indirecte PM demodulatie. Van de laatste drie sub-klassen waren er twee niet eerder bekend. Deze zijn echter van weinig praktische betekenis. Alle typen FM demodulatoren die in de literatuur zijn aangetroffen kunnen eenvoudig in de ontwikkelde classificatie gerubriceerd worden. Hoofdstuk 4 behandelt het ontwerp van de verschillende deelsystemen in FM demodulatoren. Een offset veroorzaakt door de draaggolffrequentie blijkt destructief te werken op het dynamisch bereik van de demodulator. Deze beperkt de maximale signaalslag, en verhoogt het ruisniveau. Een hoge kwaliteit kan daarom slechts bereikt worden indien het ontstaan van deze component wordt voorkomen. Dit is alleen mogelijk met demodulatoren gebaseerd op FM-AM conversie gevolgd door AM projectie-detectie, demodulatoren die FM-PM conversie bewerkstelligen met behulp van een vaste tijdvertraging, en demodulatoren die FM-PM conversie bewerkstelligen met behulp van fase-tegenkoppeling. Deze demodulatoren dienen dan tevens gebruik te maken van een directe conversie-ontvanger architectuur, of een 'banddoorlatende' FM-AM/FM-PM omzetter. De distorsie dient geminimaliseerd te worden door een geschikt gekozen frequentiekarakteristiek van de omzetter.

Hoofdstuk 5 behandelt de verschillende maatregelen die in de FM ontvangerarchitectuur kunnen worden getroffen ter verbetering van de ontvangstkwaliteit. In het algemeen zijn de kwaliteitsverbeterende signaalbewerkingen gebaseerd op veronderstellingen omtrent de eigenschappen van het ontvangen FM signaal. Wanneer deze veronderstellingen niet (meer) geldig zijn, bijvoorbeeld door de aanwezigheid van ruis en storingen, zullen de kwaliteitsverbeterende signaalbewerkingen met hoge waarschijnlijkheid veranderen in juist kwaliteitsverslechterende bewerkingen. Bewerkingen voorafgaand aan de eigenlijke demodulatie zijn gericht op het extraheren van het gewenste FM signaal uit de ontvangen frequentieband. Dit omvat scheiding in frequentie d.m.v. filtering, scheiding in fase d.m.v. fasevergrendeling, ter onderdrukking van co-channel interferentie, en scheiding in amplitude door middel van begrenzing/amplitude compressie. Post-demodulatie signaalbewerkingen zijn geënt op het reduceren van continue ruis in het demodulator uitgangssignaal, d.m.v. basisband filtering en de-emphasis, en reductie van impulsruis (clicks) d.m.v. click detectie en eliminatie. Dit laatste blijkt echter niet effectief te kunnen worden gerealiseerd. Een veel effectievere ruis-reductie methode is het toepassen van frequentie-tegenkoppeling en/of adaptieve regeling, zolang deze niet verstoord worden door ruis en storingen. De daaropvolgende hoofdstukken onderzoeken het gedrag van zogenaamde `conventionele' demodulatoren, fase-tegenkoppelingsdemodulatoren en frequentie-tegenkoppelingsdemodulatoren rondom hun ruisdrempel. De uitgangsruis van al deze demodulatoren bestaat uit een continue component, die zich in alle drie de gevallen vrijwel hetzelfde gedraagt, en een impuls-component, verantwoordelijk voor de ruisdrempel, die zich verschillend gedraagt voor deze drie typen. Hoofdstuk 6 onderzoekt de toepassing van eindige amplitude compressie i.p.v. de gebruikelijke oneindige compressie, ter realisatie van een uitwisseling tussen continue ruis en impulsruis. Na een overzicht te hebben besproken van de twee onderscheidbare typen compressoren, wordt m.b.v. een nieuw ontwikkeld model aangetoond, dat eindige compressie het continue ruisniveau verhoogt, en tevens het impuls ruis-niveau verlaagt door een reductie van het gemiddelde impuls-oppervlak. Een 'kritisch' compressieniveau is afgeleid, dat dient te worden overschreden ter realisatie van een signaal-ruis verhouding (SNR) die ten hoogste 3 dB lager is dan de maximaal haalbare SNR. Verder is aangetoond, dat 'modulatieruis', veroorzaakt door modulatie van de klein- signaaloverdracht van de compressor, wordt geminimaliseerd door een lineaire combinatie van oneindige compressie, en in het geheel geen compressie toe te passen. Het optimale compressieniveau, dat de SNR maximaliseert, is bepaald als functie van de ingangs CNR. De theorie is geverifieerd door middel van simulaties en metingen aan een FM demodulator, voorafgegaan door een zachte begrenzer.

Hoofdstuk 7 onderzoekt het drempelgedrag van fase-tegenkoppelingsdemodulatoren. Boven de drempel realiseren deze demodulatoren de maximaal haalbare SNR. De drempel zelf, bepaald

door 'cycle-slips', is over het algemeen gesitueerd op een beduidend lagere ingangs CNR dan bij een conventionele demodulator. Een niet-lineare analysemethode geeft aan, dat de cycle-slip frequentie in hoge mate afhankelijk is van de fasedetectoroverdracht en de structuur van het lusfilter. De statische fasefout dient geminimaliseerd te worden, terwijl de lusbandbreedte niet groter gekozen moet worden dan strikt noodzakelijk is. Complexe polen in de gesloten lusoverdracht dienen vermeden te worden, ter voorkoming van cycle-slip 'bursts'. Een lusfilter bestaande uit een 'ideale' integrator en een directe overdracht lijkt de optimale configuratie dicht te benaderen. De fase-detector dient geen begrenzers aan beide ingangen te bevatten, ter voorkoming van degeneratie van de overdracht bij lage CNR'S.

Hoofdstuk 8 onderzoekt het drempelgedrag van frequentietegenkoppelings~demodulatoren (FMFB) en 'dynamic tracking filters'. De drempel van deze demodulatoren ligt ook beduidend lager dan die van conventionele demodulatoren, en wordt bepaald door de drempel van de 'discriminator' binnen de lus, en de onderdrukking van het ingangssignaal van deze discriminator door het middenfrequent filter. Dit laatste effect wordt veroorzaakt door via de tegenkoppeling teruggevoerde ruis, die de frequentiezwaai van het FM signaal aan de ingang van het filter zodanig vergroot, dat de bandbreedte ervan groter wordt dan die van het filter. Het middenfrequent filter is het centrale element in het ontwerp van FMFB ontvangers, die de uitwisseling tussen ruisdrempel en lineariteit bepaalt. De drempel van de FMFB kan niet lager zijn dan die van de discriminator binnen de lus. Vergelijking van een voorbeeld FMFB met een vergelijkbare fasetegenkoppelingsdemodulator geeft aan, dat de laatste een drempel heeft in de buurt van de minimale drempel van de FMFB, dus in de praktijk lager dan de FMFB, doordat in deze demodulator geen onderdrukking door het middenfrequent filter plaats kan vinden. Hoofdstuk 9 bespreekt de conclusies.

ECHO CANCELLATION IN TELEVISION

D. Koo
9 juni 1998
Promotor: Prof. dr. ir. A.H.M. van Roermund

Dit proefschrift begint, na een korte inleiding, in hoofdstuk 2 met de beschrijving van enige fundamentele aspecten van conventionele televisietechnologie en het fenomeen van echo's. Hoofdstuk 3 geeft een voorlopig overzicht van het karakter van deze echo's. Daarna wordt in hoofdstuk 4 een meer complete discussie gewijd aan de creatie van echo's en aan de vraag hoe ze het ontvangen videosignaal aantasten op basisbandniveau onder het gebruik van verschillende modulatiesystemen. Een belangrijke conclusie is dat, wanneer beschouwd van basisband aan de zendzijde tot basisband aan de ontvangzijde, het echo-creatieproces lineair is. Steunend op dit inzicht biedt hoofdstuk 5 een lijst van eisen die aan een echo-onderdrukking-referentie (EOR) signaal moeten worden gesteld. Dit leidt dan in hoofdstuk 6 op directe wijze tot het werkelijk ontwerp van een familie van EOR's voor universeel gebruik in de verschillende televisiesystemen die in de wereld dienst doen. De overwegingen zijn tot aan dit stadium geheel geconcentreerd op een analoge EOR, zodat de mogelijkheden van een digitale EOR apart onderzocht dienen te worden. Dit gebeurt in hoofdstuk 7 waarbij geconcludeerd wordt dat een analoge EOR van de soort die wij ontwierpen te prefereren is. Het gebruik van een EOR voor kanaalkarakterisering is het onderwerp van hoofdstuk 8 en de uiteindelijke stap naar het werkelijk programmeren van digitale filters voor echo-onderdrukking wordt genomen in hoofdstuk 9, gevolgd in hoofdstuk 10 door een systeemoverzicht vanuit algoritmisch standpunt en een verslag over onze computersimulaties van echo-onderdrukking, hetgeen het besluit vormt van het theoretisch gedeelte van dit proefschrift. In het volgende hoofdstuk, nummer 11, beschouwen we een meer praktisch onderwerp, het "hardware" deel van het door ons ontworpen onderdrukkingssysteem. De corresponderende tekst over de "software" is het onderwerp van hoofdstuk 12. Hoofdstuk 13 is een opsomming van de verschillende redenen waardoor het systeem soms minder goed functioneert. Hoofdstuk 14 rapporteert over de ondergane testen in de VS en de bijbehorende testresultaten. Ons systeem onderging deze tests in concurrentie met 4 andere systemen en overleefde tenslotte als winnaar in de VS. Het werd een nationale standaard. Hierna beschrijft hoofdstuk 1-5 enkele aspecten van de transitie van de nationale naar de internationale scène, die eindigde met internationale standaardisering van ons systeem met uitzondering van Japan en Korea.

Hoofdstuk 16 biedt enkele conclusies over het werk dat beschreven wordt in dit proefschrift en tenslotte noemt hoofdstuk 17 enkele mogelijkheden voor toekomstig werk.

REDUCED-SAMPLE-RATE SIGMA-DELTA MODULATION

D. Birru Mekonnen
11 juni 1998
Promotor: Prof. dr. ir A.H.M. van Roermund

In deze thesis wordt een gedeelte van het resultaat gepresenteerd van 5,5 jaar onderzoek bij Philips Research Laboratories in Eindhoven. Het betreft een onderzoek naar effectieve methoden voor het verlichten van de snelheidseisen van sigma-delta ($\Sigma\Delta$) modulatoren zodat deze met een lagere snelheid kunnen werken. Hierbij lag de nadruk op de digitale implementatie van deze modulatoren voor toepassing in D/A-omzetting. De gepresenteerde techniek is in grote lijnen gebaseerd op een foutenterugkoppellus die in voorwaartse richting gebruik maakt van een lineair tijds-onafhankelijk lusfilter en een 1-q-bemonstering-mapper en in de terugkoppelweg van een meerfasige verwerking. Het systeem, waarbij de belangrijke signaalverwerkings-berekeningen plaatsvinden met een nominale bemonsterings-frequentie gelijk aan de bitstroomfrequentie/q, is zodanig ontworpen dat, wanneer de q-bemonsteringen naar een seriële bitstroom worden omgezet, het spectrum van het resulterende bitstroom signaal en dat van een conventionele, met op bitstroomfrequentie werkende modulator, binnen een aanvaardbare foutenmarge aan elkaar gelijk zijn. Dankzij dit systeem kunnen hoge bitstroomfrequenties in de orde van 200 MHz en hoger gebruikt worden, wat met de huidige CMOS-techniek haalbaar is. Bovendien leidt het systeem tot extra voordelen voor toepassingen met lage bandbreedtes zonder extreem hoge overheadkosten voor hardware. Deze voordelen zijn onder meer een verminderd opgenomen vermogen, verminderde 'spurious in-band' tonen, verbeterde stabiliteit, verminderde interferentie tussen de digitale en analoge blokken als gevolg van een gereduceerde klokfrequentie en voordelig te realiseren processor-gebaseerde implementatie.

De thesis is als volgt onderverdeeld. In hoofdstuk 1 wordt een algemene inleiding tot overbemonsteringsomzetters en een overzicht van de opbouw van de thesis gegeven. Hoofdstuk 2 behandelt de principes van kwantisering door overbemonstering en het proces van noise shaping om een signaal met hoge resolutie naar een signaal met lage resolutie om te zetten. Aan bod komen de populairste topologien van hogere $\Sigma\Delta$ modulatoren samen met de ontwerp afwegingen en analyse methoden van $\Sigma\Delta$ modulatoren. In hoofdstuk 3 wordt het basisconcept van reduced-sample-rate (RSR) $\Sigma\Delta$ modulatoren besproken en wordt ingegaan op de motieven om deze te ontwikkelen. Tevens wordt een aantal gegeneraliseerde topologieën van RSR $\Sigma\Delta$ modulatoren voorgesteld. Relevante eerdere studies, met name over de recursive bitstream conversiontechniek (REBIC), worden besproken. Hoofdstuk 4 behandelt een RSR $\Sigma\Delta$ modulatie topologie op basis van Recursive Deconvolution (RD) in combinatie met noise shaping. Tevens wordt het mapping probleem geformuleerd en wordt een optimaal mapping algoritme voorgesteld. De doeltreffendheid van de RD-benadering wordt aan de hand van numerieke simulaties van tweede- en derde-orde modulatoren onderzocht voor een 16-bits audio toepassing met een bandbreedte van 20 kHz. Hoofdstuk 5 bespreekt een gegeneraliseerde multifrequentie topologie van RSR $\Sigma\Delta$ modulatoren die in de terugkoppelweg gebruik maken van een reeks FIR-filters eik ter lengte q, en in voorwaartse richting van upsampling en tijdelijke noise shaping. Met behulp van deze topologie worden gegeneraliseerde en vereenvoudigde lineaire modellen ontwikkeld die het spectrum van de bitstroomreeks voor het hele frequentiebereik redelijk goed voorspellen. De bruikbaarheid van de modellen wordt geïllustreerd en hun geldigheid geverifieerd aan de hand van een analyse van de typische RSR-topologien van de REBIC- en RD-benaderingen zoals besproken in hoofdstuk 3 en 4. In hoofdstuk 6 worden technieken voor het verkrijgen van een optimale impulsweergave van de reeks FIR-filters in de terugkoppelweg voorgesteld aan de hand van het in hoofdstuk 5 ontwikkelde lineaire model. Het belang van optimalisering wordt aangetoond door te zoeken naar de optimale impulsweergave voor zowel de RD-topologie als de topologieën met meervoudige terugkoppeling. Canonieke optimale coëfficiënten en een conventionele synthesetechniek die het gebruik van optimale waarden mogelijk maken, worden gepresenteerd. Tevens wordt kort ingegaan op de invloed van de mapperparameters op de signaal-ruisverhouding. In hoofdstuk 7 worden de signaal-ruisverhouding, stabiliteit, tonaliteit en de implementatieaspecten van RSR $\Sigma\Delta$ modulatoren

onderzocht aan de hand van simulatie en analyseresultaten. Tevens worden de relevante afwegingen en hun invloed op de complexiteit van de hardware beschreven samen met een illustratief ontwerp en evaluatie van een typische modulator van de derde orde. De prestaties en hardware van de ontworpen modulator worden vergeleken met de prestaties en hardware van de gelijkwaardige conventionele configuratie. In hoofdstuk 8 wordt ingegaan op de circuitconfiguraties van een in standaard digitale 0,5 µm CMOS-technologie uitgevoerde 8-bits D/A-omzetter en worden de gemeten prestaties van deze omzetter geëvalueerd. Dit hoofdstuk toont niet alleen het belang van RSR-modulatie voor toepassingen met grote bandbreedtes aan, maar illustreert en evalueert tevens een efficiënte techniek voor nabewerking van de uitvoer van de modulator via meerfasige bewerking met een gereduceerde klokfrequentie.

ROBUST RECEIVER TECHNIQUES FOR INTERFERENCE-LIMITED RADIO CHANNELS

G.J.M. Janssen.
16 juni 1998
Promotor: Prof. dr. J.C. Arnbak.

In de drukbezette 'ether' van de moderne samenleving wordt de verstoring van radiocommunicatie door natuurlijke ruis vaak overheerst door de effecten van interferentie. Dit geeft een aanzienlijke verslechtering van de ontvangst en de systeemcapaciteit, met name indien de ontvanger is aangepast aan het kanaal met ruis. Belangrijke typen van interferentie zijn: interferentie veroorzaakt door andere gebruikers van dezelfde frequentie (CCI) of van naastgelegen frequenties, en intersymbool interferentie (ISI) veroorzaakt door dispersie van her radiokanaal. Aanpassing van de ontvanger aan de door interferentie bepaalde omgeving vereist een andere ontwerpbenadering dan wanneer natuurlijke ruis de enige verstorende factor is.

De doelstellingen van deze dissertatie zijn:

1. Een analyse geven van de verslechtering van de ontvangst in een radiokanaal met meerwegpropagatie waarin de gewenste signalen te lijden hebben van ISI, CCI of beide.
2. Verbeterde ontvangertechnieken voor te stellen die de ontvangstkwaliteit verhogen in radiokanalen waarin behalve ruis ook andere verstorende factoren een rol spelen. De oplossingen zijn bedoeld voor digitale ontvangers die geschikt zijn voor radiosystemen binnens- en buitenshuis.

Realistische propagatiestatistieken zijn onontbeerlijk voor het ontwerpen van betrouwbare radiocommunicatiesystemen. In hoofdstuk 2 worden statistische kanaalkarakteristieken afgeleid van breedbandige kanaalmetingen die zijn uitgevoerd in een kantooromgeving op 2.4, 4.75 en 11.5 GHz. Om de ontvangstkwaliteit te kunnen bepalen in een omgeving met meerwegpropagatie dient de statistiek van de bitfoutenkans (BER), inclusief alle verslechterende effecten, verkregen te worden. In hoofdsuk 3 wordt een analytisch bitfoutenkansmodel gegeven voor *Binary Phase Shift Keying* en *Quadrature Phase Shift Keying* gemoduleerde signalen in een kanaal met meerwegpropagatie dat is gespecificeerd door zijn complexe impulsresponsie. In dit BER-model wordt rekening gehouden met verstoringen ten gevolge van ISI en CCI, alsook met het effect dat het radiokanaal heeft op de terugwinning van de draaggolffase en het kloktijdstip in de ontvanger. Resultaten van de BER voor willekeurig gekozen meerwegkanalen laten een aanzienlijke verslechtering zien voor breedbandige signalen die te lijden hebben van ISI en wanneer CCI aanwezig is. De conventionele technieken voor fase- en klokterugwinning, die voor smalbandige signalen gebruikelijk zijn geven een extra verslechtering bij breedbandige signalen. Voor optimale ontvangst van breedbandige signalen dienen de draaggolffase en het kloktijdstip in combinatie bepaald te worden, zodanig dat de verhouding van signaal- en ruis+interferentie-vermogen (SNIR) maximaal is. In hoofdstuk 4 wordt antennemicrodiversiteit beschouwd als remedie tegen ISI en CCI. In vergelijking met een enkelvoudige antenne resulteert microdiversiteit in een verbetering van de kanaalkarakteristiek waardoor of met een hogere bitsnelheid uitgezonden kan worden of dezelfde bitsnelheid kan worden gebruikt in een slechter kanaal. Als verder middel tegen CCI wordt een twee-signalen-ontvanger (DSR) voorgesteld in hoofdstuk 5. Deze maakt detectie van twee signalen mogelijk die gelijktijdig in hetzelfde kanaal aanwezig zijn, door gebruik te maken van het *capture*-effect. De DSR kan op twee manieren worden toegepast om de prestatie van een systeem te verbeteren, namelijk doordat:

1. Een gewenst signaal in aanwezigheid van een stoorsignaal kan worden ontvangen;

2. Gelijktijdig beide signalen als gewenste signalen kunnen worden ontvangen.

De analyse laat zien dat twee signalen gelijktijdig gedetecteerd kunnen worden indien de signaalvermogens voldoende verschillen; de detectiekwaliteit neemt aanzienlijk af als beide signalen ongeveer dezelfde sterkte hebben.

In hoofdstuk 6 zijn verbeterde detectieschema's, foutcorrigerende codering, en antennemicrodiversiteit onderzocht om de prestaties van de DSR verder te verbeteren. De grootste verbetering wordt bereikt met het toepassen van antennemicrodiversiteit. In het Rayleigh-fading kanaal wordt nagenoeg geen verslechtering waargenomen ten gevolge van het tweede signaal voor een DSR met een vier-elements-antenne. Dit impliceert dat twee of zelfs meer signalen gelijktijdig gebruik kunnen maken van dezelfde frequentie; hierdoor kan de systeemcapaciteit ten minste verdubbeld worden.

Digitale systemen en digitale schakelingen

* * *

ADDITION RELATED ARITHMETIC OPERATIONS WITH THRESHOLD LOGIC

S.D. Coþofanã
12 januari 1998
Promotor: prof. dr. S. Vassiliadis.

Deze dissertatie betreft een soort IC fabricagetechnologieën, die eigenlijk geen primitieve Booleaanse logica uitvoeren. We onderzoeken drempellogica netwerken voor optellen en daaraan gerelateerde rekenkundige computer bewerkingen. Allereerst introduceren we netwerken met $O(\log n)$ diepte en grootte alsmede $O(n)$ gewicht en fan-in complexiteiten voor een belangrijke klasse van symmetrische Booleaanse functies, de periodieke symmetrische Booleaanse functies. We presenteren een algemeen drempellogica raamwerk voor de berekening van seriële optellingen en vermenigvuldigingen en onderzoeken de gevolgen die onze aanpak heeft op de prestaties en de kosten van de netwerken met laag gewicht en fan-in complexiteiten. Verder nemen we aan, dat operanden en resultaten gerepresenteerd worden door getallen met grondtal 2 en onderzoeken we lineaire drempellogica netwerken voor parallelle optelling. We tonen aan dat de 2 - 1 optelling van getallen met grondtal 2 een diepte-2 drempellogica netwerk met $O(n)$ grootte en $O(1)$ gewicht en fan-in waarden vereist. Onder dezelfde representatie-aanname onderzoeken we verder de realisatie van signed-digit tellers met drempellogica netwerken. In het bijzonder presenteren we drempellogica netwerken voor $p|([\log p] + 1)$ en $7|2$ signed-digit tellers. Tevens laten we zien dat voor representatie met een groter grondtal $(2p\text{-}1)$ de algemene $p|2$ tellers kunnen worden geïmplementeerd met diepte-2 drempellogica netwerken. Eveneens introduceren we parallelle vermenigvuldigingsschema's met drempellogica voor signed-digit gerepresenteerde operanden en tonen aan dat, indien $O(1)$ gewicht en fan-in aangenomen worden, de vermenigvuldiging van twee getallen met grondtal 2 kan worden berekend met $O(\log n)$ vertraging. Vervolgens, indien we een signed-digit representatie met grondtal (2n - 1) aannemen, bewijzen we dat de meervoudige-operand optelling van n n-digit getallen kan worden berekend door een diepte-2 drempellogica netwerk en dat de vermenigvuldiging van twee n-signed digit getallen kan worden berekend door een diepte-3 drempellogica netwerk, met een uit meerdere termen begrensde grootte, gewicht en fan-in waarden. Tenslotte onderzoeken we drempellogica schema's die implementeerbaar zijn met de huidige νMOS transistor fabricagetechnologieën. Voor zulke technologieën suggereren we drempel-logica netwerken met 1-bit seriële optelling en vermenigvuldiging voor 32-bit "carry look ahead" binaire optelling en we introduceren een vaste diepte-3 drempellogica netwerk voor parallelle optelling van redundant gerepresenteerde operanden met grondtal 2.

CORDIC FOR HIGH PERFORMANCE NUMERICAL COMPUTATION

G.J.Hekstra
23 maart 1998
Promotor: Prof. dr. ir. P.M. Dewilde

Veel toepassingen in het gebied van de digitale signaalverwerking vereisen het gebruik van high performance numerieke berekeningen. Wij gebruiken de term "high performance" (hoge prestatie) in een dubbele context: die van een hoge berekeningssnelheid en een hoge verwerkingscapaciteit van data, en die van een hoge berekeningsnau-

wkeurigheid en een groot dynamisch bereik van de data. Bijvoorbeeld, er bestaan al (plannen voor) toepassingen voor het verwerken van radarsignalen en radioastronomie signalen die een rekenkracht vereisen die in het gebied ligt van GigaFLOPS (10^9 FLOPS = zwevende komma bewerkingen per seconde) tot TeraFLOPS (10^{12}), en zelfs door tot PetaFLOPS (10^{15}). Het is daarom van essentieel belang dat er technieken in de computer aritmetiek worden ontwikkeld die het verwezenlijken van efficiënte high performance numerieke processoren bewerkstelligen. Een groot deel van de toepassingen die wij in beschouwing nemen, berusten op matrix algebraïsche algoritmen voor de kern van hun berekeningen. Voorbeelden hiervan zijn de QR ontbinding (QRD), de singuliere waarde ontbinding (SVD), de Eigenwaarde ontbinding (EVD), Minimum Variance Distortionless Response (MVDR) en de recursieve kleinste kwadraten methode (RLS). Het Cordic (COordinate Rotation DIgital Computer) algoritme, welk een 2x2 rotatie uitvoert van een vector over een hoek, speelt een belangrijke rol in de efficiënte en robuuste uitvoering van deze matrix algebraïsche algoritmen.

Er bestaan realisaties van het Cordic algoritme, die gebruik maken van een combinatie van een pipeline architectuur, van redundante rekentechnieken, van een specifiek logisch of circuit ontwerp, of zelfs van een hoge-snelheid VLSI proces, om een extreem hoge verwerkingscapaciteit te bereiken. In de literatuur zijn meldingen gemaakt van een verwerkingscapaciteit die de 500 miljoen rotaties per seconde[1] overstijgt. Het conventionele Cordic algoritme, welk ten grondslag ligt aan deze realisaties, heeft echter een aantal tekortkomingen. Een dezer tekortkomingen is dat het algoritme inherent alleen geschikt is voor vaste komma berekeningen, en niet geschikt is voor zwevende komma berekeningen. Bij het soort van toepassingen die wij beschouwen, worden wij in meerdere mate geconfronteerd met een groot dynamisch bereik van de data en van de signalen, zodat zwevende komma representatie en bewerkingen een vereiste zijn. Een andere tekortkoming is dat de rekenkosten om een rotatie uit te voeren, relatief hoog uitvallen vergeleken met die voor bijvoorbeeld vermenigvuldigen of optellen. Dit proefschrift bestaat uit twee delen. Het eerste deel is gericht op de computer aritmetiek (rekenkunde), terwijl het tweede deel meer is gericht op de toepassingen. In het eerste deel concentreren wij ons op wat wij zien als de twee grootste tekortkomingen van het conventionele Cordic algoritme. Deze zijn de beperkte nauwkeurigheid en laag dynamisch bereik door de inherente vaste komma bewerkingen, en de relatief hoge kosten voor het uitvoeren van een rotatie. Om de eerste tekortkoming teniet te doen, stellen wij een volledig zwevende komma Cordic algoritme (een die een zwevende komma representatie voor zowel de vector als voor de hoek gebruikt) voor, die een verwezenlijking toestaat op zowel een sequentiële als op een parallelle, pipeline architectuur. Deze laatste garandeert een hoge verwerkingscapaciteit. Een volledig zwevende komma Cordic algoritme was al eerder gepresenteerd door Walther, en dit algoritme is met succes gebruikt vanaf de eerste rekenmachines tot aan de gehele lijn van de INTEL 80x87 numerieke coprocessoren. Echter, dit algoritme staat geen efficiënte verwezenlijking toe op een parallelle architectuur, welk nodig is om een hoge verwerkingscapaciteit te garanderen.

Om de tweede tekortkoming teniet te doen, stellen wij een nieuwe, aan Cordic gerelateerde techniek, voor die wij "fast rotations" (snelle rotaties) hebben genoemd. Dit is een rekenkundige techniek om met extreem lage kosten een rotatie uit te voeren. Ook al bestaan snelle rotaties alleen voor bepaalde "toepasselijke" hoeken, heeft de techniek zich al met succes bewezen in een breed scala van signaalverwerking toepassingen. In zoverre zelfs, dat wij het tweede deel van het proefschrift wijden aan een aantal toepassingen waarin snelle rotaties met succes zijn toegepast. De eerste van de toepassingen komt uit het gebied van de computer graphics, en betreft het foto-realistisch weergeven van kunstmatige scènes. Het is juist deze applicatie die de drijfveer is geweest voor de ontwikkeling van de snelle rotatie techniek. Het gebruik van snelle rotaties binnen deze toepassing heeft geleid tot de haalbaarheid en de verwezenlijking van de Intersection Computation Unit (snijpunt berekenings eenheid, afgekort ICU), een geïntegreerd circuit dat toegespitst is op het met een hoge nauwkeurigheid en hoge verwerkingscapaciteit berekenen van snijpunten. We laten zien dat een vermindering in de berekeningskosten met een factor van ongeveer 20 is gehaald, ten opzichte van een uitvoering met enkel vermenigvuldigers, of met een factor van ongeveer 15 ten opzichte van een uitvoering met Cordic. De tweede toepassing is die van het verwezenlijken van matrix algebraïsche algoritmen, in dit specifieke

[1] Afgezien van de complexe berekening voor de sinus en cosinus van de hoek, is een rotatie vergelijkbaar met tenminste 6 zwevende komma berekeningen.

geval een Eigenwaarde ontbinding (EVD), met behulp van snelle rotaties. Wij beschouwen het geval waarbij zowel het uitrekenen van de hoek als wel het uitvoeren van de rotatie "on-line" (op de plek) gebeuren. Dit houdt in dat beide berekeningen lage kosten met zich mee moeten brengen. Wij laten zien dit inderdaad kan, en dat beide berekeningen met uitsluitend snelle rotaties bewerkstelligd kunnen worden. Een vermindering van de berekeningskosten met een factor 7 tot 8 is gehaald voor het EVD probleem, ten opzichte van een uitvoering met Cordic. De derde, en tevens laatste toepassing is het verwezenlijken van een orthogonale filterbank, die wordt gebruikt voor de hoge kwaliteit compressie van medische beelden, met behulp van snelle rotaties. Het verschil met de vorige toepassing is dat de analyse fase, van hoe de filterbank met een netwerk van snelle rotaties wordt gerealiseerd, nu "off-line" (niet op de plek) plaatsvindt. Dit geeft ons een veel grotere vrijheid in aanpak, en geeft tevens de mogelijkheid een veel grotere rekenkracht te benutten om een realisatie te vinden die de laagst haalbare rekenkosten met zich meebrengt. Vergeleken met een naïeve uitvoering met behulp van vermenigvuldigers, halen wij een orde verschil in de vermindering van rekenkosten. Er bestaan echter ook andere efficiënte technieken, die gebruik maken van de ontbinding van de Discrete Cosinus Transformatie (DCT), en die ook op onze filterbank van toepassing zijn. Deze zijn van vergelijkbare kosten als onze techniek, ware het niet dat de realisatie met snelle rotaties andere gewenste eigenschappen heeft die het voordeliger maken. Wij tonen tevens een prototype geïntegreerd circuit die uitgerust is met een aantal, in parallel werkende en ge-pipeline'de snelle rotatie eenheden, waarmee het mogelijk is om orthogonale filterbanken te realiseren met lage rekenkosten, en een hoge flexibiliteit.

---

* * *

A FUZZY APPROACH TO MODEL-BASED CONTROL

J.M. da Costa Sousa
20 april 1998
Promotor: Prof. ir. H.B. Verbruggen

Ten opzichte van het ontwerp van klassieke regelsystemen wordt het ontwerp van vage regelsystemen meestal anders uitgevoerd. In klassieke regelsystemen heeft een ontwikkeling plaats gevonden van signaal-gebaseerd regelen, waarbij slechts de actuele metingen van de verschillende signalen wordt gebruikt, naar model gebaseerd regelen. In het laatste geval worden de regelsignalen berekend op basis van de optimalisatie van ontwerpcriteria waarbij gebruik gemaakt wordt van een model van het te regelen systeem. Regelsystemen worden stapsgewijs ontworpen. Van de verschillende stappen die nodig zijn voor model-gebaseerd regelen, zijn de modelvorming van het systeem, de keuze van het ontwerp parameters en het ontwerp van de regelaar zelf, de meest fundamentele Het ontwerp van vage regelaars is verschillend van deze klassieke aanpak. Vage regelaars maken gebruik van kennis van experts in een bepaald domein om vage regels te construeren. Deze regels geven een beschrijving van de relatie tussen ingang en uitgang, op basis van een combinatie van "als-dan" regels en linguistische waarden. De verzameling van al deze regels wordt een "rule-base" genoemd. Bij dit type vage regelaars worden de regels meestal bijgesteld op basis van gerichte aanpassingen die worden beoordeeld met simulaties van het systeem of experimenten aan het systeem. Helaas heeft deze aanpak een aantal moeilijk te overkomen nadelen. Zo is het moeilijk expertkennis uit het veld te extraheren en te formaliseren. Bovendien is het vaak erg duur, ongewenst of bijna onmogelijk om experimenten uit te voeren. Daarnaast is een inherent nadeel van deze aanpak dat dergelijke regelaars niet in staat zullen zijn beter te functioneren dan de beste menselijke evenknie. Een voordeel is echter dat de vage regelaar een consistenter gedrag vertoont.

In dit proefschrift wordt een hiervan verschillende ontwerp-methodiek voor vage regelaars beschreven.

Hierbij wordt uitgegaan van de hiervoor beschreven aanpak voor model-gebaseerde regelaars. Daarom begint de ontwerp procedure met de modelvorming van het systeem en wordt het gevolgd door het maken van een keuze van het regelalgoritme afhanke

lijk van de specificaties en het uiteindelijke ontwerp van de regelaar. Een regelaar, die ontworpen is volgens deze aanpak, wordt een vage model-gebaseerde regelaar, FMBC, (fuzzy model-based control) genoemd. In een dergelijke regelaar kunnen het model, het ontwerp parameters en/of de ontworpen regelaar zelf, vaag zijn. Dit proefschrift beperkt zich tot twee benaderingen voor FMBC: het gebruik van vage modellen in een voorspellende regelaar en het gebruik van vage ontwerp en prestatie criteria. De ontwikkeling van een model van het te regelen systeem is essentieel voor FMBC. Modellen die gebaseerd zijn op fysisch-chemische behoudswetten zijn natuurlijk in het algemeen te prefereren boven andere meer black-box-achtige modellen. Wanneer dat mogelijk is, wordt in dit proefschrift gebruik gemaakt van dergelijke witte modellen. Echter, modelvorming van complexe niet-lineaire systemen met dit type modellen is in het algemeen moeilijk vanwege de grote hoeveelheid tijd en geld die hiermee gemoeid is. Bovendien zijn dergelijke modellen niet altijd eenvoudig in een regelaar-structuur toe te passen. Daarom zullen voor het merendeel van de in dit proefschrift beschreven systemen vage modelvorming- en identificatietechnieken worden gebruikt. Clustervormingtechnieken in de produkt-ruimte opgebouwd van in- en uitgangen van het systeem worden gebruikt om vage modellen te identificeren, die slechts gebaseerd zijn op gemeten data van het systeem. Een andere sleutelelement in FMBC is het maken van een gepaste keuze voor de ontwerpspecificaties. De vertaling van deze specificaties naar prestatiecriteria is eenvoudig wanneer gebruik wordt gemaakt van lineaire modellen. Voor niet-lineaire systemen is de keuze voor prestatie-criteria complexer. Deze criteria kunnen niet meer op een analytische wijze worden berekend vanuit de ontwerpspecificaties. Hierdoor verdwijnen een aantal vooral rekentechnische voordelen waardoor het aantrekkelijker wordt ook andere typen criteria te definiëren en te gebruiken. Een mogelijkheid is om de theorie van de vage verzamelingen te gebruiken voor de definitie van deze criteria. Met deze aanpak kunnen verschillende vage doelen en vage randvoorwaarden gecombineerd worden door gebruik te maken van verschillende vage aggregatie methoden. Merk op dat in feite deze vage criteria bovendien een betere vertaling vormen van de keuzes die een ontwerper moet maken.

Het laatste sleutelelement in het regelaarontwerp is de keuze van het type regelaar dat moet worden toegepast. Het gekozen regelsysteem moet gebruik kunnen maken van het aanwezige systeem model. Een van de meest gebruikte model-gebaseerde regeltechnieken is het "model te gebruiken bij voorspellend regelen" (MBPC). Een dergelijke regelalgoritme neemt het toekomstige systeemgedrag mee in de berekening van de optimale regelacties. Bovendien is het in staat om multivariabele niet-lineaire systemen te regelen, zodanig dat aan alle randvoorwaarden wordt voldaan. Deze techniek wordt daarom ook veel toegepast in de industrie. Soms treden echter problemen met modelfouten op wanneer voor bepaalde systeem delen geen adequaat model kan worden verkregen. Van de verschillende mogelijkheden om een regelaar op een vaag model te baseren is de meest eenvoudige methode: het inverteren van het vage model om dit vervolgens in een open-lus regelconfiguratie op te nemen. Het geinverteerde model wordt dan gebruikt als open-lus regelaar, zodat voor minimumfase systemen een stabiele regelaar resulteert. In de praktijk is echter elk regelsysteem onderhevig aan modelfouten en systeemafwijkingen. Deze problemen kunnen worden opgelost door gebruik te maken van een regelaar "internal model" of een vage compensatie toe te passen. De inversie van het vage model kan voor een lokaal of globaal werkgebied worden uitgevoerd. Slechts lokale inversie wordt in dit proefschrift behandeld. Twee speciale gevallen van vage modellen kunnen analytisch worden geïnverteerd: het enkelvoudige vage model (fuzzy singleton model) en de Takagi-Sugeno modellen die affine zijn met betrekking tot de regelactie. Een linguistisch vaag model met enkelvoudige consequenten (singleton consequents), waarbij het antecedent lidmaatschapsfuncties een partitie vormen en waarbij bovendien de enkelvoudige uitgang monotoon stijgt of daalt, kan ook analytisch worden geïnverteerd. Dit type inversie kan ook worden toegepast voor Takagi~Sugeno modellen waarbij de regelactie niet in het antecedent deel van het model voorkomt. Voor tijdvariërende systemen moeten de parameters van het vage model worden aangepast aan de veranderde omstandigheden. Hiervoor is een recursieve kleinste kwadraten methode ontwikkeld om de consequenten van het vage enkelvoudige model aan te passen. Wanneer randvoorwaarden een rol spelen is het zeker niet meer mogelijk een analytische inversie uit te voeren. In

dat geval kan een combinatie van inverse regeling, indien de randvoorwaarden niet mee spelen, met een voorspellende regelaar, indien de randvoorwaarden wel meegenomen moeten worden, uitkomst bieden. Merk daarbij op dat het optimalisatieprobleem in de voorspellende regelaar een niet-convex probleem is.

Een andere aanpak voor vaag model-gebaseerd regelen is het gebruik van vage verzamelingen voor de definitie van vage doelen en vage randvoorwaarden. De combinatie van deze vage criteria wordt geaggregeerd door gebruik te maken van een goed gekozen vage operator. Deze combinatie van doelen en randvoorwaarden kan worden voorgesteld als een gegeneraliseerde doelfunctie in een voorspellende regelaar structuur. Vage doelen en vage randvoorwaarden werden geïntroduceerd voor toepassingen die betrekking hadden op het nemen van beslissingen. De definities van vage doelstellingen, vage randvoorwaarden, vage besluitvorming (fuzzy decision making) en de combinatie van meerdere vage doelen en randvoorwaarden worden beschreven in het proefschrift. Een nieuwe formulering van vage doelstellingen en vage randvoorwaarden, die worden gedefinieerd voor verschillende ruimten, wordt eveneens geïntroduceerd. Daarnaast wordt een oplossing voor multi-dimensionale vage besluitvorming waarbij discrete alternatieven worden gebruikt, kort beschreven. De toepassing van vage besluitvorming (fuzzy decision making) in een regelsysteem wordt uitgebreid in dit proefschrift beschreven. In dit type toepassingen kan het meerstaps besluitvormingsprobleem worden opgelost door de toekomstige tijdstappen over een bepaalde voorspellingshorizon mee te nemen. De meeste beschreven regeltoepassingen op het gebied van vage besluitvorming zijn open-lus van aard. Dit proefschrift pretendeert een eerste aanzet te geven om te komen tot een generalisatie van de toepassing van vage besluitvorming op gesloten-lus regelsystemen. De definities van vage doelen, vage randvoorwaarden en de aggregatie daarvan wordt beperkt tot het gebied van regelsystemen. Vage criteria worden gebruikt om een algemene doelfunctie te definiëren voor model gebaseerde voorspellende regelaars. De twee belangrijkste problemen die moeten worden overwonnen wanneer vage besluitvorming wordt toegepast in regelsystemen zijn: de definitie van vage criteria en de keuze van geschikte aggregatie operatoren. De eerste stap om vage doelfuncties te definiëren is uit te gaan van een generalisatie van fouten, zoals veranderingen in de regelacties en veranderingen in de outputs die meestal worden gebruikt in klassieke doelfuncties. Deze procedure wordt ook gevolgd in het proefschrift en twee eenvoudige voorbeelden laten duidelijk de voordelen van vage besluitvorming in voorspellend regelen zien. De keuze van aggregatie operatoren is ook erg belangrijk. Om harde randvoorwaarden niet te overschrijden zullen altijd t-normen moeten worden gebruikt. Van de verschillende te gebruiken t-normen bieden de parametrische normen de mogelijkheid de systeemresponsie met slechts één parameter in te stellen. Hetzelfde is ook mogelijk met andere aggregatoren zoals het gegeneraliseerde gemiddelde. Echter, operatoren die geen t-norm zijn kunnen slechts onder bepaalde voorwaarden worden gebruikt om te voorkomen dat harde randvoorwaarden worden overschreden.

Wanneer de voorspellende regelaar is gebaseerd op vage besluitvormingsfuncties, dan is het optimalisatieprobleem in het algemeen niet convex. Speciale condities waarvoor het probleem wel convex blijft worden gepresenteerd in het proefschrift. Echter, deze condities zijn wel restrictief wat betekent dat meer algemene optimalisatie problemen nog steeds met complexe technieken moeten worden opgelost. Voor deze gevallen wordt voorgesteld een "branch-and-bound" algoritme te gebruiken. Dit algoritme is toepasbaar voor problemen met een korte regelhorizon en een relatief klein aantal discrete regelacties, omdat de toepasbaarheid van deze methode snel afneemt bij toenemen dimensie. De branch-and-bound methode kan ook worden gebruikt voor de optimalisatie van klassieke doelfuncties zoals gebruikt in standaard voorspellende regelaars. Een andere mogelijkheid is om het optimalisatieprobleem aan te pakken met een speciaal genetisch algoritme. Het wordt aangetoond dat genetische algoritmen bepaalde voordelen hebben ten opzichte van de branch-and-bound methode, vooral als sprake is van een langere regelhorizon, met een groot aantal discretisatie punten en als er sprake is van systemen met meerdere inputs. Verschillende regelmethoden die zijn geïntroduceerd in dit proefschrift zijn toegepast op een airconditioning systeem. De voordelen van sommige van de voorgestelde methoden komen in deze toepassing duidelijk naar voren. Er kan worden geconcludeerd dat de voorgestelde methoden voor vage model-gebaseerde regelaars resulteren in verbeteringen van de kwaliteit van de regelacties in vergelijking met de klassieke aanpak van voorspellend regelen. Het gebruik van vage modellen voor regelaar toepassingen, de introductie van vage criteria in de doelfunctie van de voorspellende regelaar en het

gebruik van nieuwe methoden voor niet-convexe optimalisatie problemen zijn getest op verschillende processen. Gesimuleerde en praktische toepassingen laten de voordelen en de verbeterde regelaarkwaliteit van de verschillende voorgestelde methoden duidelijk zien.

COORDINATION OF REDUNDANT SYSTEMS

M. Brunt
26 mei 1998.
Promotor: Prof. ir. G. Honderd
Toegevoegd promotor: Dr. ir. W. Jongkind.

Dit onderzoek is een spin-off project van het Europese project Teleman. Teleman bestond uit een aantal kleinere deelprojecten waarvan sommige zijn uitgevoerd op het Regeltechnisch Laboratorium. Deze projecten zijn: Teleman 18 of HANDYMAN en Teleman 46 of LACWAP *[Teleman 1995]*. Waarschijnlijk kan iedereen zich de ramp met de kerncentrale in Chernobyl wel herinneren. Een op een afstand bestuurde robot faalde en dat heeft waarschijnlijk de mogelijkheid teniet gedaan om de meltdown te stoppen. Dit is een voorbeeld van een robot die faalt omdat de omgevingscondities te gevaarlijk worden. Het Teleman programma is voltooid in 1995. Twee robotsystemen waren onderdeel van dit onderzoek: de OCTOVERA robot met zes graden van vrijheid en de DUT/VERMAAT behendige grijper HANDYMAN met 11 graden van vrijheid. In het algemeen bestaat een robotsysteem uit een aantal deelsystemen, actuatoren en joints die samen moeten werken om een bepaalde taak te volbrengen. Een taakvariabele kan bijvoorbeeld een positie van de eind-effector in Cartesische coördinaten zijn. De OCTOVERA robot is kinematisch redundant. Dit betekent dat de robot meer schamierpunten heeft dan taakvariabelen. Scharnierpunten worden aangeduid als joints. Het overschot aan graden van vrijheid kan gebruikt worden om secundaire taken zoals het vermijden van joint begrenzingen, verbeterde samenwerking tussen de joints en obstakelontwijking te bewerkstelligen. Een basisvaardigheid die de robot moet hebben om redundantie te benutten, is de vaardigheid om te herconfigureren. Een praktisch experiment toont het vermogen aan van de OCTOVERA om "self-motions" of eigenbewegingen uit te voeren; hierbij staat het herconfigureren centraal. Voordat een willekeurig systeem behoorlijk geregeld kan worden, moet er een model van het systeem gebouwd worden. Voor alle joints van de OCTOVERA is een tweede orde model opgesteld. Bovendien zijn er wrijvingsmodellen opgesteld. De identificatie van Coulombse wrijvingscomponenten heeft bijgedragen tot een betrouwbare schatting van het lineaire deel van de modellen van de joints. Een originele methode om de Coulombse wrijving te bepalen is opgesteld. Discrete toestands-variabele filters (eng.: discrete state variable filters) zijn ontworpen met behulp van eerste orde integratoren. Deze state variable filters (SVF) kunnen gebruikt worden om n^e orde afgeleiden van een signaal te bepalen. Integratoren van het type Euler en trapezium leveren een verbetering ten opzichte van nulde-orde-houd benaderingen van integratoren, omdat dit laatste type integratoren niet-minimum fase wordt voor filterordes hoger dan twee.
De SVFs zijn ook gebruikt om nauwkeurige snelheidsregelaars te maken voor alle joints. De methode, die gevolgd is bij het volgen van banen is resolved rate control; hierbij worden de gewenste jointsnelheden berekend. Een praktisch experiment toonde de volgnauwkeurigheid aan van de OCTOVERA met snelheidsgeregelde joints. Met behulp van een aantal voorbeelden uit de biologie en de robotica, zijn de concepten van coördinatie en coöperatie (samenwerking) uitgelegd. Een synchrone bewegingsregelaar (eng.: synchronous movement controller, afgekort tot: SMC) is bestudeerd en experimenteel gevalideerd. De SMC is gebaseerd op een koppeling tussen subsystemen gebaseerd op de afwijking van de gemiddelde snelheid. De experimenten toonden grote verbeteringen aan in synchrone bewegingen vergeleken met individueel geregelde joints. De SMC methode is belangrijk in de productie industrie, waar het stangenmechanismen kan vervangen. Gewenste positie paden kunnen gespecificeerd worden met behulp van een eenvoudig planner interface. Dit planner interface bevat een grafische representatie van de werkruimte van de robot en de onzekerheidsgebieden rondom de robot en obstakels. Deze onzekerheidsgebieden worden gebruikt om een afstandsmaat te definiëren die gebruikt kan worden om de stand van de robotarm te veranderen om obstakels te ontwijken. Het in het planner interface ingevoerde pad kan via-punten en through-punten bevatten. Via-punten hoeven niet op het gewenste pad te liggen. Cirkelvormige interpolatie krommen zijn gebruikt om ruimtelijk gladde en gewenste positie paden te berekenen. In een motion profiler wordt elk segment van het pad voorzien van een versnellings- en van een afremfase om haalbare gewenste

positie paden te genereren. Op het middendeel van het padsegment wordt een constante gewenste tangentiële snelheid verondersteld. Cirkelvormige interpolatie segmenten kunnen niet gebruikt worden indien de oriëntatie als taakvariabele gedefinieerd wordt omdat er in dat geval stapvormige gewenste snelheden gegenereerd worden.

Halfgeleidertechnologie

* * *

InP-BASED POLARISATION INDEPENDENT WAVELENGHT DEMULTIPLEXERS

C. van Dam.
2 December 1997
Promotor: Prof. dr. ir. H. Blok

Golflengte (de)multiplexers spelen een sleutelrol in optische netwerken. Onderzoek op het gebied van golflengte (de)multiplexers heeft zich met name gericht op componenten gebaseerd op een phased-array (PHASAR). Deze lijkt robuust en fabricagetolerant te zijn omdat die in een conventionele golfgeleidertechnologie gemaakt kan worden met behulp van een relatief eenvoudig fabricageproces. In dit proefschrift wordt een uitvoerige analyse van de werking en het ontwerp van PHASAR demultiplexers beschreven, waarbij speciale aandacht besteed wordt aan specifieke ontwerp-eisen zoals polarisatie-onafhankelijkheid en lage verliezen. Alle PHASAR demultiplexers in dit poefschrift zijn vervaardigd op InP substraat, hetgeen de mogelijkheid biedt tot de realisatie van kleine componentafmetingen, en tot monolithische integratie met actieve componenten, zoals detectoren en optische versterkers. Het leeuwendeel van dit proefschrift is gericht op methoden om PHASAR's polarisatie-onafhankelijk te maken. Aangezien de polarisatietoestand van het verzonden licht na propagatie door de glasvezel onbekend is, en tevens varieert in de tijd, is het belangrijk dat de response van PHASAR demultiplexers daarvoor niet gevoelig is. Een methode om PHASAR's polarisatie-onafhankelijk te maken is door polarisatie-omzetters in het midden van de reeks golfgeleiders te plaatsen. Het blijkt dat golfgeleiderbochten met een kleine bochtstraal in een diepgeëtste golfgeleiderstructuur, polarisatiedraaiende eigenschappen hebben, die uitgebreid in dit proefschrift beschreven worden. Dit werk leidde tot de realisatie van een nieuw type polarisatieomzetter met een hoge omzetting, laag verlies en compacte afmetingen.

Een andere methode om PHASAR's polarisatie-onafhankelijk te maken is door gebruik te maken van polarisatie-onafhankelijke golfgeleiders. Experimenten, in samenwerking met Philips Optoelectronics Centre (POC) uitgevoerd, laten zien dat op deze manier compacte componenten gemaakt kunnen worden, die lage verliezen en weinig kanaaloverspraak hebben. Daarnaast is een demultiplexer geïntegreerd met detectoren en in een behuizing gemonteerd, hetgeen leidde tot de eerste optische ontvanger die gemonteerd is in een compacte, industriestandaard butterfly behuizing. Een derde methode voor het verkrijgen van polarisatie-onafhankelijke PHASAR's is door het compenseren van de polarisatiedispersie van de reeks golfgeleiders door middel van het plaatsen van een sectie met een andere polarisatiedispersie. Alhoewel deze methode gevoelig is voor breedte- en diktevariaties in de golfgeleider, kan het op een vanuit het oogpunt van fabricage eenvoudige wijze toegepast worden. Experimenten laten zien dat polarisatie-onafhankelijkheid gerealiseerd kan worden ten koste van slechts een kleine toename van de componentlengte (minder dan 1 mm). Verder worden twee additionele methoden voor polarisatie-onafhankelijkheid besproken. De eerste maakt gebruik van een compacte polarisatie-omzetter (zoals eerder beschreven), die in het midden van de PHASAR demultiplexer geplaatst wordt. Bij de tweede methode worden de polarisaties gescheiden aan de ingang van de PHASAR demultiplexer met behulp van een polarisatiescheider. Beide methoden worden in dit proefschrift beschreven. Indien de vrije-propagatie regio's van de PHASAR demultiplexer vervangen worden door multimode interferentie (MMI) koppelaars, wordt een speciale variant van de phased-array demultiplexer verkregen. Op deze manier kan het aantal array-golfgeleiders gereduceerd worden tot het aantal golflengtekanalen. Verder wordt laag verlies van het gehele component verwacht, gezien de uniforme vermogensdeling en de lage verliezen van de MMI koppelaars. Een aantal experimenten zijn uitgevoerd, waarvan een in een diep geëtste golfgeleider-structuur. Hierdoor kunnen zeer kleine bochten gebruikt worden (bochtstraal 50 µm), hetgeen er toe leidde dat de kleinste demultiplexer ooit gerapporteerd kon worden gerealiseerd.

Een MMI koppelaar kan ook gebruikt worden voor

het scheiden van modes. Hiermee kunnen dan hogere orde modes weggefilterd worden. Het voordeel van dergelijke scheiders is dat ze eenvoudig vervaardigd kunnen worden met compacte afmetingen. Analyse en experimenten in dit proefschrift tonen aan dat modescheiders gebaseerd op een MMI koppelaar ongevoelig zijn voor variaties in de golflengte, breedte en dikte. Tenslotte is voor de eerste keer de infrarode lichtverdeling in een golfgeleider zichtbaar gemaakt met een resolutie die onder de theoretische diffractielimiet ligt. Dit bleek mogelijk door een twee-staps opconversie mechanisme te gebruiken van erbium-atomen, die in een aluminiumoxide golfgeleiderstructuur ingebracht zijn. Indien er twee van zulke opconversies achtereenvolgend plaatsvinden, wordt er groen licht uitgezonden.. Aangezien het proces afhankelijk is van de concentratie aangeslagen erbium-atomen, dat op zijn beurt weer afhankelijk is van de veldverdeling in de golfgeleider, is de hoeveelheid uitgezonden groen licht een replica van de veldverdeling. De veldverdeling van het infrarode licht in een MMI koppelaar is gemeten, en er is aangetoond dat de meetresultaten goed overeenstemmen met berekende veldverdelingen.

InP-BASED PHOTONIC INTEGRATED CIRCUITS FOR WAVELENGHT ROUTING AND SWITCHING

C.G.M. Vreeburg
16 december 1997
Promotor: Prof. dr. B.H. Verbeek

Momenteel wordt de transmissiecapaciteit van glasvezels benut door elektronische tijd multiplexing. Bij deze techniek worden verschillende signalen met beperkte bandbreedte gestapeld in het tijddomein door elektronica. Omdat de vraag naar transmissiecapaciteit twee keer zo snel toeneemt als de snelheid van elektronica en omdat de huidige snelheid net voldoende is om aan de vraag te voldoen, moeten er nieuwe manieren ontwikkeld worden om de capaciteit verder te vergroten.

Een aantrekkelijke manier om de capaciteit van een bestaande glasvezel te vergroten is golflengte multiplexing. Dit betekent dat meerdere signalen met verschillende golflengten over een enkele glasvezel getransporteerd worden. Een punt-punt transmissie systeem dat golflengte multiplexing gebruikt, bestaat aan de zendkant uit een aantal lasers die onafhankelijk gemoduleerd kunnen worden en uit een multiplexer of een vermogenskoppelaar om alle golflengte signalen in een glasvezel te krijgen. Aan de ontvangstkant worden de golflengte signalen ruimtelijk gescheiden om onafhankelijk van elkaar gedetecteerd te kunnen worden. Op elk knooppunt worden de optische signalen geconverteerd naar elektronische signalen en gerouteerd door een elektronische schakelmatrix.

Indien golflengte multiplexing gebruikt wordt om de capaciteit te vergroten, kan de golflengtedimensie ook gebruikt worden om een flexibeler optisch netwerk te bouwen. In dit golflengte routerend netwerk gebeurt een deel van de signaalroutering in het optische domein en worden dus vele optisch-elektronische omzettingen vermeden. Dit proefschrift beschrijft de ontwikkeling en de daarvoor benodigde InP-technologie van optische geïntegreerde circuits (PIC's photonic integrated circuits) voor het routeren en schakelen van signalen met verschillende golflengte. In dit proefschrift worden add-drop multiplexers (ADM's) behandeld, die noodzakelijk zijn in golflengte routerende netwerken. Deze ADM's kunnen golflengte signalen routeren aan de hand van hun golflengte. Twee elementaire bouwstenen voor ADM's zijn een golflengte demultiplexer (PHASAR) en een optische schakelaar. Dit proefschrift beschrijft een Mach-Zehnder Interferometer (MZI) 2x2-schakelaar met een verlies van 1 dB en een overspraak kleiner dan -20 dB. In dezelfde technologie is ook een 16-kanaals PHASAR golflengte demultiplexer met laag verlies (1.5 dB) gemaakt.

Omdat deze twee bouwstenen in hetzelfde lagenpakket en met dezelfde technologie gemaakt zijn, is monolithische integratie van deze twee gereduceerd tot een ontwerpprobleem. Optische simulaties van twee verschillende verbindingsschema's voor een vierkanaals ADM zijn gedaan met een computerprogramma gebouwd op HP-MDS voor optische componenten. Gebaseerd op experimentele resultaten en de simulaties is voor de eerste realisatie van een in InP-technologie geïntegreerde ADM één verbindingschema gekozen. Er zijn twee versies van een vierkanaals herconfigureerbare ADM gemaakt: een polarisatie-afhankelijke en een polarisatie-onafhankelijke. De resultaten van de experimenten zijn zeer bemoedigend. Voor de polarisatie-afhankelijke ADM was het totale verlies 10 dB. Dit verlies is opgebouwd uit tweemaal het verlies van een PHASAR, het verlies van een schakelaar, het verlies van 2 cm golfgeleiders en het verlies van de golfgeleiderkruisingen. De overspraak was lager dan -20 dB.

De overspraak voor de polarisatie-onafhankelijke versie was hoger, dit werd veroorzaakt door lithografische problemen. De overgebleven polarisatie dispersie was minder dan 0.3 nm. Naar aanleiding van deze resultaten verwachten wij dat in InP-technologie een ADM gemaakt kan worden met een overspraak van minder dan -20 dB (en minder dan -30 dB voor dubbel uitgevoerde schakelaars) in combinatie met een polarisatie dispersie kleiner dan 0.2 nm. Deze specificaties zijn vergelijkbaar met componenten gefabriceerd in glas-technologie; componenten gemaakt in InP zijn echter veel kleiner en kunnen geïntegreerd worden met actieve componenten zoals optische versterkers.

TECHNOLOGY AND RELIABILITY OF TAB AND FLIP-CHIP iNTERCONNECTIONS

A.F.J. Baggerman
3 februari 1998
Promotor: Prof. dr. C.I.M.Beenakker

De hedendaagse elektronica wordt gekenmerkt door een grote mate van miniaturisering, en een sterke erosie van de verkoopprijzen. Veelal wordt de miniaturisering bereikt door een verdere integratie in het silicium. In dit proefschrift is gefocusseerd op de verkleining van de omhullingen van Integrated Circuits (IC's). In het inleidende hoofdstuk 1 is in algemene zin de huidige omhullingtechnologie voor IC's behandeld. De afmetingen en het gewicht van de componenten zijn steeds meer beperkend voor nieuwe draagbare elektronische apparatuur. Voor een verkleining van de assemblage op substraat niveau zijn een aantal oplossingsrichtingen aangegeven. Bump verbindingstechnologieën staan hierbij centraal. In hoofdstuk 2 wordt een overzicht gegeven over recente wetenschappelijke publicaties op het gebied van de aanbreng- en verbindingstechnologie van diverse bumps voor Tape Automated Bonding (TAB) en flip-chip. Het is inmiddels getracht om de depositie van bumps voor TAB te elimineren, maar nog steeds zijn bijna alle TAB processen gebaseerd op thermocompressie verbindingen aan goud bumps. Een veel voorkomend probleem is de beschadiging van de passivatie- en barrière-lagen door de hoge mechanische belasting. Een oplossing voor het probleem was nog niet gepubliceerd. Voor flip-chip blijkt dat de meeste onderzoekers zich richten op verbindingen met hoogsmeltende PbSn bumps. Dit vereist echter wel een nauwkeurige depositie van (laagsmeltend) eutectisch PbSn op de contact-locaties van de printplaat. Een geschikt proces voor het deponeren van de benodigde kleine hoeveelheden soldeer is echter moeilijk te integreren in de bestaande assemblage lijnen.
Een verbindingsproces voor TAB, waarbij beschadigingen aan het bondpad worden voorkomen, wordt beschreven in hoofdstuk 3. De mechanische deformatie van de TAB constructie is numeriek gesimuleerd met een mechanisch model, welke uitgaat van de eindige-elementen methode. De schade aan het IC kan aanmerkelijk worden verminderd door de onderzijde van de bump minder te laten vervormen tijdens het thermocompressie proces. Dit is gerealiseerd door een tweelaags Ni-Au bump te gebruiken. Hierbij wordt wel de von Mises spanning in de inner-lead van het folie verhoogd. Dit kan snel leiden tot een verzwakking van de verbinding bij een (te) hoge verbindingstemperatuur. Voor verschillende combinaties van Ni-Au laagdiktes is aangetoond dat goede verbindingen kunnen worden gemaakt en dat hierbij scheurvorming geheel kan worden voorkomen. Een flip-chip proces op polyimide folie wordt beschreven in hoofdstuk 4. De flip-chip componenten worden voorafgaande aan de montage van de andere (passieve) componenten hoogsmeltend gesoldeerd. Om de soldeerbaarheid van het folie in de buurt van de flip-chip niet negatief te beïnvloeden, is ook de opbouw van het folie verder geoptimaliseerd. De kwaliteit van de verbinding hangt af van de gevormde microstructuur in de verbindingszone. Het is aangetoond dat de vorming van de eutectisch $Au_{80}Sn_{20}$ of de ζ' fase noodzakelijk zijn om brosse breuk van de verbinding te voorkomen. Hoewel bekend is dat hechting van epoxy aan polyimide niet optimaal is, is de betrouwbaarheid van de (slechts 20 μm hoge) verbinding door toepassing van een epoxy tussenlaag toch verder verbeterd (factor 20).

In hoofdstuk 5 staat een flip-chip proces op goedkope glas-epoxy printplaat centraal. Bij massaproductie is het van belang dat het flip-chip proces volledig geïntegreerd is met het reflow solderen van Surface Mount Devices (SMD's). Hiertoe is een flip-chip proces ontwikkeld met eutectische PbSn bumps, waardoor een gecompliceerde depositie van kleine hoeveelheden soldeer niet hoeft worden ingepast. Door aanpassing van de electroplating condities zijn de hoogteverdeling en de samenstelling van de bumps geoptimaliseerd. Tijdens het solderen is het van belang dat het

soldeer niet te ver uitvloeit en de flip-chip tot op het substraat inzakt. De design-aspecten van de printplaat zijn onderzocht. Om het verschil in uitzetting tussen silicium en printplaat te compenseren is gebruik gemaakt van een epoxy tussenlaag (underfill). De eigenschappen van dit materiaal zijn in verband gebracht met de verlenging in levensduur. Voor de depositie van soldeer-bumps wordt meestal gebruik gemaakt van soortgelijke dunne film processen zoals deze worden toegepast in de wafer-fab. Om vervuiling van de productiemachines te voorkomen, kunnen de benodigde metalliseringen niet met dezelfde productieapparatuur aangebracht worden. In hoofdstuk 6 is een nieuw maskerloos soldeer-bump proces beschreven, waarbij soldeerdruppels geschoten worden op een bondpad metallisering van electroless Ni/P-Au. De ruwheid van de metallisering bepaalt of terugkaatsing van de solder-jet druppels optreedt. Het volume van de druppel wordt, bij een gelijkblijvende capillair-opening, in belangrijke mate bepaald door het product van de pulsamplitude en pulslengte van de piezo-electrische actuator. Als gevolg van een vergaande degradatie van de verbinding tussen de actuator en het glas capillair is een grotere pulsamplitude vereist zonder dat het volume nog verder toeneemt. De kwaliteit van de solder-jet bump is onderzocht in verschillende duurproeven na afmontage als flip-chip. Als een epoxy tussenlaag wordt toegepast, is het gedrag van de solder-jet bump vergelijkbaar met een galvanische bump.

Analoge en microgolf circuits

* * *

HIGH-PERFORMANCE OSCILLATORS AND OSCILLATOR SYSTEMS

J.R. Westra
26 mei 1998
Promotor: Prof. dr. ir. A.H.M. van Roermund.

Het primaire doel van de ontwerper van ieder informatieverwerkend systeem is het bereiken van een zekere functionaliteit. Het is zijn taak, de gespecificeerde functionaliteit bij minimale kosten te bereiken. Heden ten dage worden veel informatieverwerkende systemen geïmplementeerd in elektronica. De mathematische operaties die op de informatie moeten worden uitgevoerd, worden geïmplementeerd als elektronische systemen, die de operaties uitvoeren op informatiedragende, elektrische grootheden. De implementatie van mathematische functies in technische systemen kan echter nooit gebeuren zonder het toevoegen van fouten, die te wijten zijn aan de fysische eigenschappen van het technische systeem. Het is de taak van de ontwerper van het systeem, specificaties af te leiden voor alle subsystemen en deze zo te implementeren dat het totale systeem aan alle eisen voldoet. Deze complexe taak vraagt om een gestructureerde ontwerpmethodologie om een optimale kwaliteit te bereiken bij minimale kosten (benodigd chipoppervlak, vermogensdissipatie, ontwerptijd etc.). Een goede ontwerpmethodologie is systematisch, hiërarchisch en heeft zo weinig mogelijk iteraties. Om een dergelijke ontwerpmethodologie te bereiken is het concept *orthogonaliteit* van groot belang. In een orthogonaal ontwerpproces kan iedere eigenschap van het systeem onafhankelijk van alle andere eigenschappen worden geoptimaliseerd. Orthogonalisatie van het ontwerpproces kan op ieder hiërarchisch ontwerpniveau plaatsvinden; zowel op systeemniveau, als op circuitniveau. Om de ontwerper in staat te stellen strategische ontwerpbeslissingen op het juiste hiërarchische niveau te nemen is een *classificatie* van het allergrootste belang.

In iedere *oscillator* is een tijdreferentie aanwezig, die in staat is om de abstracte tijdinformatie om te zetten in een meetbare elektrische grootheid. De eigenschappen van oscillatoren worden voornamelijk bepaald door het gedrag van hun interne tijdreferenties. Daarom kan een fundamentele classificatie van oscillatoren uitstekend gebaseerd zijn op de tijdreferenties die in de oscillatoren gebruikt worden. In deze dissertatie hebben we ons beperkt tot de beschrijving van oscillatoren die gebruik maken van *lineaire* tijdreferenties. Deze lineaire tijdreferenties kunnen worden gekarakteriseerd met behulp van hun poolpatronen. Classificatie van oscillatoren door middel van de poolpatronen van hun interne tijdreferenties geeft de ontwerper een sterk gereedschap in handen om de eigenschappen van oscillatoren te beoordelen met slechts een vluchtige blik op het poolpatroon. Uiteraard hangt het gedrag van een oscillator niet uitsluitend af van de aard van het poolpatroon van zijn tijdreferentie; ook de manier waarop de oscillatie-informatie van de tijdreferentie wordt uitgelezen en de manier waarop energie wordt geleverd aan de tijdreferentie is van groot belang voor het uiteindelijke gedrag

van de oscillator. De tijdreferentie van eerste-orde oscillatoren kan met slechts één pool worden gekarakteriseerd. Zowel voor het afstemgedrag als voor het ruisgedrag van de oscillator ligt deze pool idealiter in de oorsprong. De aldus resulterende *integrator* kan worden gebruikt als een tijdreferentie, aangezien deze in staat is een tijdvariant signaal te creëren uit een constante. Om een oscillator te construeren met een eerste-orde tijdreferentie is een tijd-invariant, niet-lineair systeem benodigd, dat drie basisfuncties moet vervullen: *niveaudiscriminatie, geheugen en terugkoppeling*. De resulterende eerste-orde oscillator kan worden beschreven met behulp het *toestandsmodel*. In het toestandsmodel wordt onderscheid gemaakt tussen vijftien verschillende toestanden, die de toestand van de tijdreferentie in de eerste-orde oscillator representeren. Gedurende een periode maakt de oscillator transities van de ene toestand naar de andere. In het toestandsmodel zijn vier verschillende toestandsovergangen gedefinieerd. In het *toestandsgeheugen* tenslotte, is de huidige toestand van de oscillator opgeslagen. Voor de classificatie van eerste-orde oscillatoren is de herkenning van toestandsovergangen met negatieve terugkoppeling van groot belang. Tijdens een dergelijke overgang is de oscillator zeer gevoelig voor ruis. In een goed ontwerp kunnen deze toestandsovergangen worden vermeden. Ten tweede is het van belang om in te zien dat het toestandsgeheugen geen deel hoeft uit te maken van het gedeelte van de oscillator dat verantwoordelijk is voor het bepalen van de uitgangsfrequentie. Als het geheugen buiten dit gedeelte wordt gehouden is het ontwerp van het toestandsgeheugen minder kritisch.

In de klasse van tweede-orde oscillatoren kunnen twee belangrijke subklassen worden onderscheiden. In een tweede-orde oscillator met *reële* polen wordt de oscillatie-energie iedere periode opnieuw aan de tijdreferentie toegevoerd en weer daaraan onttrokken. In een tweede-orde oscillator met *complexe* polen wordt de oscillatie-energie over meerdere perioden geconserveerd, terwijl deze gedurende een periode wordt uitgewisseld tussen de verschillen energiereservoirs in de tijdreferentie. In de laatstgenoemde klasse hoeft dus slechts de energie te worden aangevoerd die, tijdens het transport van de energie tussen de verschillende energiereservoirs, verloren is gegaan. Aangezien er minder energie hoeft te worden toegevoerd, kan dit ook met minder ruis gepaard gaan. Bovendien heeft een tijdreferentie met complexe polen een inherente voorkeursfrequentie, die volledig is bepaald door de (passieve) elementen van de tijdreferentie, wat deze frequentie zeer nauwkeurig maakt. Daarom is het ruisgedrag van tweede-orde oscillatoren met een tijdreferentie met complexe polen in het algemeen veel beter dan het ruisgedrag van oscillatoren met een tijdreferentie met reële polen. Hoewel in principe zowel relaxatie als harmonische oscillatoren kunnen worden gemaakt met behulp van tweede-orde tijdreferenties, ligt in deze dissertatie sterk de nadruk op harmonische oscillatoren, omdat de oscillatoren in deze klasse in het algemeen van hogere kwaliteit zullen zijn. In harmonische oscillatoren moeten de twee polen van de tijdreferentie naar de imaginaire as worden gedreven. Dit kan worden bereikt met behulp van een *dempingcontrole* circuit, dat in staat is om het *reële* deel van de polen te controleren, of met behulp van extra nulpunten in de tijdreferentie. De positie en het aantal additionele nulpunten in de tijdreferentie heeft een grote invloed op het uiteindelijk gedrag van de oscillator. Daarom kunnen deze beide aspecten uitstekend worden gebruikt als een fundamenteel criterium in de classificatie. In *hogere-orde oscillatoren* worden additionele polen gebruikt om de twee oscillatiepolen naar de imaginaire as te drijven. Omdat fundamenteel slechts twee polen benodigd zijn voor een oscillatie, is iedere extra pool in principe onnodig. De introductie van extra polen voegt fundamenteel ruis toe aan de tijdreferentie, zodat hogere-orde tijdreferenties meer ruis produceren dan tweede-orde tijdreferenties. Aangezien ook het afstemgedrag van hogere-orde oscillatoren fundamenteel gezien geen directe voordelen heeft ten opzichte van bijvoorbeeld eerste-orde oscillatoren, worden in deze klasse geen oscillatoren aangetroffen met hoge kwaliteit. In *oneindige-orde* oscillatoren wordt een vertragingslijn gebruikt als frequentieselectief element. Met behulp van speciale circuitconstructies is het mogelijk om de pure frequentieselectiviteit van de vertragingslijn zelf te benutten. Omdat de effectieve kwaliteitsfactor van vertragingslijnen erg laag is, is het gebruik van deze oscillatoren van beperkt praktisch nut. Hoewel het ruisgedrag van eerste-orde oscillatoren in principe moeilijk te beschrijven is, door het inherent niet-lineaire gedrag van deze oscillatoren, is het toch mogelijk dit gedrag elegant te beschrijven met behulp van special hiertoe ontwikkelde, effectgeoriënteerde modellen. Ruisbronnen kunnen worden onderscheiden in vier basistypes. In de beschrijving van deze ruisbronnen is het concept van *toestandscorrelatie* van groot belang. Een eerste-orde oscillator is een systeem dat transities maakt van toestand naar toestand. De invloed van een ruisbron hoeft niet in

iedere toestand hetzelfde te zijn. Daarom kunnen gecorreleerde en ongecorreleerde ruisbronnen worden onderscheiden.

Voor de beschrijving van de invloed van ruisbronnen op de oscillator is het nuttig om effectgeoriënteerde modellen te ontwikkelen. Deze effectgeoriënteerde modellen beschrijven ieder de invloed van één bepaald type ruisbron op één bepaalde parameter van de oscillatie, zoals de frequentie of de duty-cycle. Omdat in veel systemen de ontwerper slechts geïnteresseerd is in één bepaalde parameter van de oscillatie zijn deze modellen van groot praktisch nut. De modellen kunnen worden gerepresenteerd als filters, gevolgd door een bemonstering, wat de interpretatie van deze filters gemakkelijk maakt. Ook het ruisgedrag van tweede-orde harmonische oscillatoren verdient speciale aandacht. In deze klasse van oscillatoren zijn er veel mogelijkheden voor het orthogonaliseren van de basisfuncties. Drie basisfuncties kunnen worden onderscheiden: *het verschaffen van frequentiestabiliteit, het mogelijk maken van afstemming van de oscillatiefrequentie en het verschaffen van amplitudestabiliteit*. Deze drie functies kunnen in verschillende subsystemen worden geïmplementeerd. Met het implementeren van deze drie separate bouwblokken is het ontwerp echter nog niet compleet. Ook het ontwerp van de interfaces verdient speciale aandacht. Wanneer dit aspect wordt verwaarloosd kan de uiteindelijke kwaliteit van de oscillator hier ernstig onder te lijden hebben. De uitgang van de tijdreferentie is verbonden met de ingang van de energie toevoerende schakeling. De primaire taak van deze interface is het transport van *informatie*. Daarom dient van deze interface het *ruisgedrag* geoptimaliseerd te worden. Dit vereist het zorgvuldig aanpassen van de impedantieniveaus, zodat een ruisaanpassing mogelijk wordt. Aan de uitgang van de energie toevoerende schakeling wordt vermogen getransporteerd naar de tijdreferentie. Omdat de primaire taak van deze interface het transport van vermogen is, dient deze interface geoptimaliseerd te worden voor dit vermogenstransport. Dit kan gebeuren door de efficiëntie van het transport te optimaliseren, of door ervoor te zorgen dat zoveel mogelijk vermogen naar de tijdreferentie wordt getransporteerd. Dit naar keuze van de ontwerper. Wanneer resonatoren worden gebruikt als tijdreferentie, kunnen de benodigde impedantie-aanpassingen worden gerealiseerd door middel van taps op de resonator. Als de tijdreferentie een tweepoort is kunnen beide interfaces worden geoptimaliseerd. Als de tijdreferentie een eenpoort is, is slechts een compromis mogelijk. Bij het kiezen van een tijdreferentie moeten nog twee andere aspecten in ogenschouw worden genomen. Allereerst moet de *fundamentele ruisvloer* van de tijdreferentie zo laag mogelijk zijn; de som van de reële delen van de polen en de nulpunten dient zo klein mogelijk te zijn. Ten tweede moet de selectiviteit van de tijdreferentie zo groot mogelijk zijn, om de oscillatie zo ongevoelig mogelijk te maken voor de ruis van het energie toevoerende circuit. Beide aspecten leiden vaak, maar niet altijd, tot dezelfde tijdreferentie. Een ander belangrijk aspect bij het ontwerpen van oscillatoren is het verstemmen van de oscillatiefrequentie. In iedere oscillator wordt tijdens een periode energie getransporteerd. De oscillatiefrequentie wordt bepaald door twee aspecten van dit energietransport: de *hoeveelheid* energie die wordt getransporteerd, en de *snelheid* waarmee dit gebeurt. Daarom kan de oscillatiefrequentie gewijzigd worden door het wijzigen van één van beide aspecten.

In de totale energiestroom in een tijdreferentie kunnen drie substromen worden onderscheiden. Energie kan worden gedissipeerd, iedere cycle worden *toegevoerd* en weer *afgevoerd*, of worden *uitgewisseld* tussen elementen binnen de tijdreferentie. De eerstgenoemde energiestroom is sterk verbonden aan de basisfunctie van het verschaffen van amplitudestabiliteit. De overige twee stromen kunnen worden gebruikt voor het verstemmen van de oscillatiefrequentie. De methoden om één van beide aspecten van het energietransport te veranderen kunnen worden onderverdeeld in *passieve* en *actieve* methoden. Omdat passieve afstembare componenten vaak een inferieure kwaliteit hebben, moeten actieve afstemmethoden soms worden geprefereerd, omdat deze efficiënter zijn met het opgenomen vermogen. Een gebruikelijk probleem bij het afstemmen van oscillatoren is het probleem van bouncing. Bouncing ontstaat dan, wanneer de oscillator de steady state verlaat tijdens het afstemmen. In dat geval moet de amplitude controle lus ingrijpen om de oscillator weer terug te brengen in steady state. In oscillatoren waarbij de amplitudes van de signalen in de tijdreferentie mede de frequentie bepalen, wordt de door bouncing ontstane amplitude-modulatie direct geconverteerd naar frequentie-modulatie. Dit kan een zeer ongewenst effect zijn wanneer de oscillator deel uitmaakt van een groter systeem, bijvoorbeeld een PLL. Bouncing kan in een zorgvuldig ontwerp voorkomen worden. Om bouncing te voorkomen moet aan

twee voorwaarden worden voldaan: de overdracht van de tijdreferentie moet tijdens het afstemmen gelijk blijven en de *toestand* van de tijdreferentie mag door het afstemmen geen verandering ondergaan. Wanneer afstembare oscillatoren met een zeer laag ruisniveau gewenst zijn, kunnen actief afstembare kristaloscillatoren een goed alternatief zijn. Door middel van actieve afstemmethoden kan een relatief groot afstembereik worden gerealiseerd. In de meeste gevallen is het verstandig om hiervoor de parallelresonantie van het kristal te gebruiken aangezien deze resonantiemode het meest eenvoudig kan worden verstemd, met een beter ruisgedrag dan de serieresonantie. Actief afstembare kristaloscillatoren zijn zuiniger met vermogen dan afgestemde LC oscillatoren wanneer het afstembereik klein is. In applicaties met zeer stringente eisen aan de oscillatie kan het soms onmogelijk zijn om aan alle eisen te voldoen met gebruikmaking van slechts één oscillator. In deze gevallen kan orthogonalisatie op systeemniveau worden toegepast. Er kunnen bijvoorbeeld phase-locked loop systemen worden ontworpen waarbij iedere oscillator één specifieke taak heeft, waarvoor de betreffende oscillator kan worden geoptimaliseerd. De kwaliteit van het uitgangssignaal kan dan veel beter zijn, dan wanneer slechts één oscillator was gebruikt. In deze georthogonaliseerde systemen zijn de oscillatoren altijd gekoppeld. De koppeling tussen de oscillatoren kan *unidirectioneel*, dan wel *mutueel* van aard zijn. In unidirectionele koppelingsmechanismen kan een specifieke eigenschap van een slaaf-oscillator worden verbeterd tot het niveau van een meester-oscillator. Mutuele koppelingsmechanismen kunnen worden gebruikt wanneer het gewenste gedrag niet met één losse oscillator kan worden bereikt. In deze systemen kan de kwaliteit van het uitgangssignaal dus beter zijn, dan de kwaliteit van het uitgangssignaal van ieder van de losse oscillatoren. Met behulp van bijvoorbeeld in fase gekoppelde systemen van eerste-orde oscillatoren kan een beter ruisgedrag worden bereikt dan in ieder van de losse oscillatoren. Het ruisniveau dat met deze systemen kan worden bereikt kan echter nooit beter zijn, dan wat voorspeld wordt door de vN-wet. Daarom is het praktisch nut van deze systemen beperkt. Wanneer in fase gekoppelde systemen van resonator-oscillatoren worden geconstrueerd, kan de effectieve kwaliteitsfactor van het resulterende systeem hoger zijn dan de kwaliteitsfactor van ieder van de afzonderlijke oscillatoren. Daarom kan een verbetering van het ruisgedrag worden geconstateerd in deze systemen. Vooral in de directe omgeving van de oscillatiefrequentie. Deze koppelingstechnieken vergen een zeer goede gelijkheid van de resonatoren, of de mogelijkheid deze af te stemmen. Een andere mogelijkheid is om het afstemgedrag van resonator-oscillatoren te verbeteren in een oscillatorsysteem. In deze systemen worden resonatoren gebruikt die op verschillende frequenties zijn afgestemd. Door middel van pulling worden de resonatoren dan naar de uitgangsfrequentie 'getrokken'. Dit pullingmechanisme veroorzaakt echter altijd een sterke degradatie van het ruisgedrag van de oscillator. Daarom moet het gebruik van deze systemen worden vermeden. In veel systemen voor communicatiedoeleinden zijn oscillaties benodigd met een zeer stabiele kwadratuurrelatie. In veel kwadratuurgeneratoren worden de kwadratuursignalen afgeleid van een oscillator met een frequentie van tweemaal de gewenste frequentie, wat een onnodig hoge vermogensconsumptie vergt en de maximale uitgangsfrequentie met een factor twee reduceert. In andere methoden wordt de dubbele frequentie vermeden, wat vaak resulteert in een asymmetrisch circuit. In kwadratuur-gekoppelde systemen van eerste-orde oscillatoren worden al deze problemen vermeden. Het resulterende systeem is symmetrisch, gebruikt geen hogere frequenties dan de benodigde uitgangsfrequentie en is efficiënt met vermogen, omdat zo weinig mogelijk componenten op de maximale frequentie werken.

Bovendien is in kwadratuur-gekoppelde systemen van eerste-orde oscillatoren een fase-terugkoppeling aanwezig, die de uitgangssignalen exact in kwadratuur brengt. Door deze inherente mutuele terugkoppeling hebben allerlei circuit niet~idealiteiten, zoals ongelijkheden en vertragingen slechts een minimale invloed op de kwadratuurrelatie van de uitgangssignalen. Met deze kwadratuur-gekoppelde systemen kunnen zodoende superieure kwadratuurgeneratoren worden geconstrueerd. Wanneer soortgelijke systemen worden geconstrueerd met resonator-oscillatoren, wordt de kwadratuurrelatie tussen de uitgangssignalen direct bepaald door de ongelijkheid van de resonatoren. Bovendien verslechtert het ruisgedrag van het resulterende systeem wanneer de resonatoren onderling verschillen. De *resonator-gesynchroniseerde eerste-orde oscillator* is nauw verwant aan het kwadratuur-gekoppelde systeem. Dit oscillatorsysteem kan uitstekend worden gebruikt om een specifieke mode te selecteren in multi-mode resonatoren. De meest gebruikelijke methode om een mode te selecteren in een multi-mode resonator is uiteraard het gebruik van selectiefilters. Wanneer de gewenste mode echter dicht bij een ongewenste

mode in de buurt ligt, kan de benodigde selectiviteit slechts bereikt worden met dure, externe, passieve filters, of on-chip filters met een hoge kwaliteitsfactor, die inherent een hoog ruisniveau hebben, veel vermogen dissiperen en veel chipoppervlak in beslag nemen. Al deze nadelen worden ondervangen in een resonator-gesynchroniseerde eerste-orde oscillator. In dit systeem wordt een eerste-orde oscillator gebruikt om een multi-mode resonator te exciteren. Door nu de eerste-orde oscillator te vergrendelen door het uitgangssignaal van de resonator eraan toe te voeren, kan de gewenste mode worden geselecteerd. De ruis in het uitgangssignaal wordt echter volledig bepaald door de multi-mode resonator. Een ander voordeel van deze koppelingsmethode is dat deze een grote ongevoeligheid heeft voor overspraak. Resonator-gesynchroniseerde eerste-orde oscillatoren kunnen daarom uitstekend gebruikt worden in oscillatoren met on-chip resonatoren, en voor een eenvoudige selectie van zeer hoge boventonen in (bijvoorbeeld) kristaloscillatoren.

Elektrische machines

* * *

OSCILLATIONS IN RAIL VEHICLE TRACTION DRIVES: ANALYSIS OF ELECTROMECHANICS

M. Winterling
22 september 1997
Promotor: Prof. dr. Ing . W. Deleroi

Vervoer maakt een steeds belangrijker deel uit van het dagelijks leven. Door het woon-werkverkeer en buitenlandse reizen is de dichtheid in auto-, vliegtuig- en treinverkeer toegenomen. Hoge snelheidstreinen zijn een alternatief voor het vliegtuig, terwijl treinstellen, metro's en trams een alternatief voor de auto zijn. Door de toenemende files op de snelwegen is het openbaar vervoer via rails een serieus alternatief, maar het moet aantrekkelijk zijn. Dat betekent comfortabele treinen, metro's en trams, die de passagiers snel en met een hoge frequentie kunnen vervoeren. Deze eisen vragen om nieuwe ontwikkelingen. Een voorbeeld is de lage vloertram met een instaphoogte van 30 centimeter. De ontwikkeling van railvoertuigen zoals treinstellen, metro's en trams, uitgerust met asynchrone tractiemotoren en nieuwe draaistel- en rijtuigbakconstructie, heeft geleid tot zowel vermindering van gewicht als tot hogere prestaties. Daardoor kan het energieverbruik verlaagd en de capaciteit voor het personenvervoer verhoogd worden. Tegenwoordig behoort de levensduur bij de specificaties van nieuw te ontwikkelen railvoertuigen. Specificaties van componenten van tractieaandrijvingen zoals tandwielkasten, koppelingen en verende ophangingen moeten een levensduur van minstens 30 jaar garanderen. De levensduur van de componenten wordt beïnvloed door de dynamische belasting. Voor de ontwikkeling van tractieaandrijvingen moeten derhalve de pieken en oscillaties van de optredende koppels en krachten bepaald worden. Hiervoor moet de gehele aandrijving bestaande uit elektrische aandrijving, mechanische aandrijflijn en wiel-rail-contact beschouwd worden. Gezien het grote aantal van concepten voor de elektrische en mechanische aandrijving moet een flexibele procedure voor het bepalen van het trillingsgedrag ontwikkeld worden.

Er kunnen gedempte vrije trillingen of gedwongen trillingen optreden in de mechanische aandrijving. De elektrische aandrijving is een bron van oscillaties door de pendelkoppels die de motor genereert als gevolg van de invertervoeding, door de dynamica van de regeling en door foutsituaties in de aandrijving zoals statorkortsluiting van de motor. Oscillaties opgewekt door het wiel-rail-contact komen tot stand door stoten en door slip-stick-verschijnselen, die de hele aandrijving exciteren. In dit proefschrift wordt een procedure voorgesteld waarmee mechanische trillingen in tractieaandrijvingen op experimentele en rekenkundige manier bepaald kunnen worden om in korte tijd een overzicht van het trillingsgedrag van een aandrijving te verkrijgen. Metingen aan tractieaandrijvingen moeten worden uitgevoerd door sensoren zowel in de elektrische als in de mechanische aandrijving te plaatsen en simultaan te bemonsteren. Een standaard tractiecyclus van aanzetten en remmen verschaft een overzicht van de optredende trillingen, door analyse in het tijddomein en het frequentiedomein in cascadeplots uit te voeren. Toerentalafhankelijke trillingen en resonanties kunnen eenvoudig worden gedetecteerd. Er zijn metingen uitgevoerd aan drie verschillende voertuigtypen op de baan en aan een locomotief op een rollenbank. De meest belangrijke bronnen van trillingen bleken de invertergevoede motor, de mechanische aandrijflijn en het wiel-rail-contact te zijn. De hoogste amplitudes traden op bij het aanstoten van zwak gedempte eigenfrequenties zoals slip-stick oscillaties

van de wielas en resonantie door pendelkoppels van een cardanas.

Flexibele modelvorming is mogelijk door de mechanische structuur als multibody systeem te modelleren, waardoor de bewegingsvergelijkingen afgeleid worden vanuit een beschrijving van een mechanische structuur van starre lichamen in drie dimensies. Door het model van de mechanische structuur te koppelen met de elektrische aandrijving en het wiel-rail-contact kunnen trillingen van de aandrijflijn, het draaistel en het hele voertuig worden onderzocht. Voor de flexibele modelvorming en simulatie is software ontwikkeld. Aan de hand van twee voorbeelden van tractieaandrijvingen is de dynamica tijdens het aanzetten van een voertuig gesimuleerd. Daarbij is rekening gehouden met pendelkoppels, wielslip en eventuele kortsluiting van de tractiemotor. De demping van de aandrijfcomponenten speelt een belangrijke rol voor de amplitude en propagatie van de trillingen. Een toereikend gedempte aandrijflijn is altijd aan te bevelen om de amplitude van trillingen te beperken. Het optimaliseren van pulsmodulatie van de inverter heeft rekening te houden met mogelijke resonanties en transiënten als gevolg van pulsovergangen. De optredende wielslip beperkt de koppelpiek bij statorkortsluiting van de motor. Bij aanzetten of remmen dicht bij het maximum van de over te brengen kracht van wiel naar rail kunnen slip-stick oscillaties optreden die deels door de aandrijflijn gedempt worden. Om de optredende hoge amplitudes te beperken is actieve demping door de tractieregeling gewenst. De resultaten van het onderzoek laten zien dat voor de analyse van trillingen in tractieaandrijvingen het gehele systeem onderzocht moet worden. Voor optimalisatie van een tractieaandrijving moet niet alleen de regeling maar moeten ook de componenten van de aandrijving geoptimaliseerd worden. Specificaties van de componenten moeten rekening houden met de dynamische belasting die berekend en gemeten kan worden met de in dit proefschrift beschreven middelen. De interactie van de variabelen die nodig zijn voor optimalisatie maakt deze tot een moeilijke opgave.

ON THE LOSSES IN A HIGH-SPEED PERMANENT-MAGNET GENERATOR WITH RECTIFIER

With special attention to the effect of a damper cylinder.

H. Polinder
9 juni 1998
Promotor: Prof. dr. Ing. W. Deleroi

Dit proefschrift gaat over de verliezen in een sneldraaiende permanente-magneetgenerator met een cilindrische rotor en magneten in de luchtspleet. De generator is belast met een stuurbare zespulsige bruggelijkrichter. Zo'n generatorsysteem kan gebruikt worden in hybride voertuigen, vliegtuigen, schepen, aggregaten, warmte-kracht gekoppelde installaties en turbines die energie terugwinnen uit de expansie van gecomprimeerd gas. Het doel van het onderzoek is het afleiden van een machinemodel dat gebruikt kan worden om het machineontwerp te optimaliseren. Het model is vooral bedoeld om de rotorverliezen te minimaliseren. Dit is belangrijk omdat hoge rotorverliezen de rotor verhitten, wat tot demagnetisatie van de magneten kan leiden. Een methode om de rotorverliezen te reduceren is het gebruik van een dempercilinder. Zo'n demper cilinder introduceert demperverliezen, maar hij schermt de rest van de rotor af, zodat grote wervelstroomverliezen in het rotorijzer en de magneten vermeden worden. Een andere methode om de rotorverliezen te verkleinen is het gebruik van kleine magneetblokjes. Beide methoden worden onderzocht.

De afleiding van het machinemodel is gebaseerd op de tweedimensionale berekening van het magnetisch veld in de luchtspleet en de magneten. Hierin worden ruimtelijke harmonischen van het magnetisch veld meegenomen omdat hun bijdrage aan de rotorverliezen belangrijk is. Het machinemodel heeft vijf eigenschappen die het geschikt maken om het machineontwerp te optimaliseren.

1. Het model is analytisch.
2. De parameters van het model worden berekend uit de afmetingen en de materiaaleigenschappen van de machine.
3. Het kan gebruikt worden voor een machine met en zonder dempercilinder.
4. Het omvat de belangrijkste elektromagnetische verliezen, namelijk de koperverliezen in de stator, de ijzerverliezen, de wervelstroomverliezen in de magneten en de verliezen ten gevolge van de statorgroeven. Het omvat ook de dem-

perverliezen als een dempercilinder gebruikt wordt.

5. De wervelstroomverliezen in de magneten worden berekend als functie van de breedte van de magneetblokjes.

Het afgeleide model van de permanente-magneet generator wordt gecombineerd met een model van de stuurbare zespulsige bruggelijkrichter. De resulterende vergelijkingen worden opgelost in het frequentiedomein om het gedrag van de permanente-magneet generator met gelijkrichter te bepalen. Kortsluitproeven met geblokkeerde rotor verifiëren de spanningsvergelijkingen van de machine met dempercilinder, het model voor de ijzerverliezen en het model voor de wervelstroomverliezen in de magneten voor de ruimtelijke grondharmonische. Voor de ruimtelijke hogere harmonischen zijn de modellen geverifieerd noch gefalsifieerd. Metingen van spannings- en stroomvormen van de generator met gelijkrichter in normaal bedrijf verifiëren het complete model van machine met gelijkrichter.

Het afgeleide model van de permanente-magneetmachine is gebruikt om enkele belangrijke ontwerpaspecten van permanente-magneetmachines te onderzoeken. Hieruit kunnen de volgende conclusies getrokken worden. In tegenstelling tot wat beweerd wordt over synchrone machines met gelijkrichter, is een demper in een permanente-magneetmachine met gelijkrichter niet nodig om een voldoende kleine commutatiehoek te krijgen, noch effectief om het reactieve vermogen te reduceren. In een machine met gelamineerd rotorijzer hangt het effect van een dempercilinder op de verliezen af van het toerental. Bij zeer hoge toerentallen leidt het toevoegen van een dempercilinder tot een reductie van de rotorverliezen, terwijl bij lagere toerentallen het toevoegen van een dempercilinder leidt tot een toename van de rotorverliezen. Daarom moet de beslissing over het gebruik van een dempercilinder gebaseerd worden op zorgvuldige berekeningen. In een machine met massief rotorijzer leidt het toepassen van een dempercilinder over het algemeen tot een reductie van de rotorverliezen. In een machine met gelamineerd rotorijzer en zonder dempercilinder is het grootste deel van de rotorverliezen wervelstroomverlies in de magneten. In dit geval is het verkleinen van de breedte van de magneetblokjes een zeer effectief middel om de rotorverliezen te reduceren omdat het wervelstroomverlies in de magneten ruwweg evenredig is met het kwadraat van de breedte van de magneten. In een machine met dempercilinder zijn de ijzerverliezen in de rotor en de wervelstroomverliezen in de magneten verwaarloosbaar ten opzichte van de demperverliezen: de dempercilinder schermt de rest van de rotor af. Als stroomverdringing in de dempercilinder verwaarloosbaar is, is het demperverlies ruwweg omgekeerd evenredig met de dikte van de dempercilinder. De demperverliezen worden zeer groot als de afstand tussen de dempercilinder en het statoroppervlak te klein wordt.

Het model van de permanente-magneetmachine afgeleid in dit proefschrift is geschikt voor de optimalisatie van het ontwerp van een permanente-magneetmachine met gelijkrichter en voor het onderzoek naar het effect van een dempercilinder. De meerwaarde van dit model is dat het de berekening van de spannings- en stroomvormen van de machine met gelijkrichter combineert met een machinemodel gebaseerd op de tweedimensionale berekening van het magnetisch veld inclusief de belangrijkste elektromagnetische verliezen.

Overige onderwerpen

* * *

SOUND REPRODUCTION BY WAVE FIELD SYNTHESIS

E.N.G. Verheijen
19 januari 1998
Promotor: Prof. dr. ir. A.J. Berkhout

Geluidsreproductie omvat het opnemen, opslaan en het weergeven van geluid (inz. muziek). Sinds de jaren vijftig berust geluidsreproductie hoofdzakelijk op stereofonische technieken. Hierbij wordt het geluid opgenomen met twee microfoons, het zgn. hoofdsysteem *(main microphones)*, die vóór het gebied met geluidsbronnen (bijv. een symfonieorkest) zijn geplaatst. Vaak worden aparte geluidsbronnen of groepen daarvan tevens geregistreerd met steunmicrofoons *(spot microphones)*. Deze signalen worden gemengd met die van het hoofdsysteem, en afgespeeld over twee luidsprekers. Een luisteraar die midden voor de luidsprekers plaatsneemt, zal een geluidsbeeld waarnemen dat gelijkenis vertoont in klank, diepte en balans met het oorspronkelijke geluidsbeeld. Een luisteraar die niet precies in het midden zit, ervaart een ruimtelijk vervormd geluidsbeeld dat naar de dichtstbijzijnde

luidspreker nijgt. Het optimale luistergebied voor stereofonische weergave beperkt zich dus tot enige zitplaatsen op de lijn midden tussen beide luidsprekers.

In dit proefschrift wordt een nieuwe reproductiemethode beschreven, die is gebaseerd op het principe van golfveldsynthese *(wave field synthesis)*. Hierbij worden rijen *(arrays)* van luidsprekers op dusdanige wijze aangestuurd met bewerkte versies van de bronsignalen *(source signals)*, dat er golffronten worden gevormd die vrijwel identiek zijn aan die van de originele geluidsbronnen. Deze reproductiemethode biedt daarmee een volumeoplossing, in plaats van de puntoplossing die kenmerkend is voor conventionele reproductiemethodes. De originele bronsignalen wordt bewerkt door een syntheseoperator, die uit de golfveldrepresentatie van Kirchhoff-Helmholtz wordt afgeleid. Deze theorie beschrijft de verdeling van druk en deeltjessnelheid op een gesloten oppervlak, ten gevolge van (primaire) geluidsbronnen buiten het omsloten volume. Wordt dit oppervlak bedekt met secundaire dipool- en monopoolbronnen, dan is theoretisch een perfecte reconstructie van het primaire bronveld mogelijk in het omsloten volume. Voor het speciale geval waarbij de secundaire bronnen in een plat vlak liggen, kan Rayleighs theorie worden toegepast. Deze stelt dat, indien de primaire bronnen achter het platte vlak liggen, een van beide soorten secundaire bronnen volstaat om een kopie te genereren van het primaire golfveld vóór dat vlak. In de praktijk kunnen vlakke rijen van luidsprekers (secundaire bronnen) worden gebruikt om virtuele bronnen (primaire bronnen) te synthetiseren. Wanneer nu zowel de luisteraars als de virtuele bronnen zich in een horizontaal vlak bevinden, is een lineaire horizontale rij van luidsprekers voldoende. Tevens is het door middel van focussering mogelijk om virtuele bronnen vóór de luidsprekers te creëren: de luisteraars nemen dan een bron in het akoestische focus waar.

Omdat de luidsprekers in de rij een zekere afstand tot elkaar hebben, ontstaan boven een bepaalde frequentie spectrale afwijkingen in het gereproduceerde golfveld: de zogeheten effecten van ruimtelijke onderbemonstering *(spatial aliasing)*. Uit de theorie komt naar voren dat naarmate de luidsprekers een sterkere richtwerking *(directivity)* hebben, het opgewekte geluidsveld het originele veld meer benadert. De richtwerking van de luidsprekers kan worden beïnvloed door het afstralende diafragma te modelleren. Dit lukt het beste met elektrostatische luidsprekers. Een prototype rij van luidsprekers, gebouwd volgens deze inzichten, bevestigt dat het mogelijk is een geluidsveld op te wekken dat ook voor hogere frequenties correct is. Het rendement van dit prototype is echter nog onvoldoende voor toepassing bij golfveldsynthese, zodat tevens een elektrodynamische rij van luidsprekers is ontwikkeld. Met deze elektrodynamische luidsprekers is een 128-kanaals reproductiesysteem gebouwd, dat een luistergebied van 24 m' omsluit. De geluidsvelden worden in dit systeem per bron als volgt opgebouwd: het directe geluid (geregistreerd met een steunmicrofoon) wordt als een virtuele bron weergegeven, de vroege reflecties (berekend met een spiegelbronnenmodel) worden eveneens als virtuele bronnen gesynthetiseerd, en de nagalm (opgenomen met microfoons in het galmveld) of kunstgalm wordt door middel van vlakke golven uit verschillende richtingen samengesteld. Ook snelbewegende bronnen (opgenomen met meebewegende steunmicrofoons) kunnen worden gesynthetiseerd, hetgeen vooral voor toepassing in bioscopen, simulatoren en *virtual reality* theaters van belang is. Het systeem is op twee manieren geëvalueerd: met metingen (objectief) en met luisterproeven (subjectief). Uit een vergelijkend onderzoek, waarvan ook stereofonie en 3/2 *surround sound* deel uitmaken, blijkt dat het golfveldsynthese systeem het grootste luistergebied met ruimtelijk correcte geluidsreproductie creëert. Ook is het geluidsbeeld robuuster dan bij de andere weergavemethoden, in het bijzonder als de opnametechniek wordt afgestemd op weergave met gesynthetiseerde golfvelden. Het systeem is bovendien in staat een zeer ruimtelijke impressie te genereren, waarbij de luidsprekers zelf niet meer kunnen worden onderscheiden. Voorts wordt ook de flexibiliteit van het systeem ten aanzien van het beïnvloeden van bronposities en akoestiek beschouwd als een belangrijke vernieuwing.

"PROMOVEREN HEEFT ZIN, OMDAT JE ERVARING OPDOET IN HET ZELFSTANDIG WERKEN AAN EEN COMPLEXE OPDRACHT."

Interview met

dr.ir. Guido Dolmans

Gepromoveerd aan de TU Eindhoven i.s.m. Philips Research

Titel: "Effect of indoor fading on the performance of an adaptive antenna system"

Het interview werd afgenomen door dr.ir. A.B. Smolders

Guido Dolmans (29 jaar) is in oktober 1997 gepromoveerd aan de TU Eindhoven in de vakgroep Telecommunicatie Technologie en Elektromagnetisme onder leiding van Prof. dr. A.G. Tijhuis en dr. M. Jeuken. Momenteel werkt hij bij Philips Research (NatLab) in Waalre. Zijn werk is in het afgelopen jaar nogal opgevallen, omdat het uitgebreid in de pers is verschenen. Uit dit interview zal duidelijk worden waar die belangstelling vandaan komt.
Guido Dolmans heeft na de middelbare school bewust gekozen voor de studie Elektrotechniek. Dolmans: "Elektrotechniek ben ik gaan studeren vanwege de boeiende combinatie van fysica en wiskunde. Elektronica interesseerde me vroeger al mateloos, waardoor ik veel gedaan heb met experimenteerdozen, schakelingen enz. Telecommunicatie vind ik interessant door het brede gebied dat bestreken wordt: radiokanaal, elektromagnetisme, protocollen, hoog-frequente elektronica en codering. Elektromagnetisme is daar een onderdeel van, waarbij je begint met de basisprincipes: de vergelijkingen van Maxwell. Vanuit deze paar fundamentele wetten kun je veel te weten komen. Voorbeelden zijn de stralingseigenschappen en impedanties van antennes, hoog-frequente componenten en de eigenschappen van radarsystemen. Daarentegen wordt binnen het vakgebied telecommunicatie meer gedacht in termen van bouwblokken en systeem berekeningen. De combinatie van deze twee vakgebieden leidt tot een zeer complete en nauwkeurige beschrijving van de fysische processen die optreden bij mobiele verbindingen"

Waarom gaan ingenieurs promoveren? Het is een vaak gestelde vraag. Iedereen heeft er zo zijn eigen reden voor. Voor je carrière (en dan met name in financiële zin) hoef je het vaak niet te doen. Dolmans: "De keuze om te gaan promoveren werd vooral ingegeven door het feit dat je dan zelfstandig een tijd lang een bestaand probleem volledig kunt onderzoeken. Een van de voordelen van mijn promotiewerk was dat er een hechte samenwerking met Philips bestond. Hierdoor werden ideeën die ontstonden tijdens het onderzoek ook daadwerkelijk overgedragen. Promoveren heeft in die mate zin dat je ervaring opdoet in het zelfstandig werken aan een complexe opdracht. Van te voren is het niet duidelijk of het probleem oplosbaar is. Met deze achtergrond ben je naar mijn mening eerder geschikt om risicovolle en innovatieve projecten te initiëren. Door specialist te worden op een bepaald gebied beschik je over veel kennis die ingezet kan worden op actuele problemen binnen het bedrijfsleven. "

Dolmans heeft tijdens zijn promotie gewerkt aan een probleem dat zich met de huidige generatie mobiele telefoons (GSM, DECT etc) voordoet. Dolmans: "Huidige mobiele telefoons zijn niet in staat om te reageren op wisselende omgevingsfactoren. De huidige zenders stralen in alle richtingen evenveel en slechts een klein gedeelte van het signaal komt daadwerkelijk aan bij de antenne van de draagbare telefoon. Tevens is deze ontvangstantenne in gelijke mate gevoelig voor signalen uit diverse richtingen. Door dit niet optimale proces van signaaloverdracht gaat een groot gedeelte van de beschikbare energie verloren. Hierdoor kan het gebeuren dat door blokkering van het zendpad door gebouwen, maar ook door bewegingen van mensen in de omgeving, de gebruiker van een mobiel toestel terechtkomt in een gebied met lage signaalsterktes. De gebruiker heeft hier last van doordat van tijd tot tijd het geluid wegvalt, klikken hoorbaar zijn, of in het ergste geval de verbinding wordt verbroken. In vaktermen noemen we dit *fading*."
Dolmans heeft geprobeerd om een (commercieel) interessante oplossing voor dit probleem te vinden. Dolmans: "Een beter principe zou zijn om een smalle antennebundel in de richting van het gewenste signaal te sturen, terwijl alle stoorsignalen uit andere richtingen onderdrukt worden. Wanneer nu twee antennes worden gebruikt kan een adaptieve

antennebundel worden gecreëerd, die steeds kijkt of in een andere richting geen beter signaal beschikbaar is. Het ronddraaien van de dubbele antenne is niet praktisch uitvoerbaar, daarom wordt de antennecombinatie virtueel rondgedraaid. Dit kan in de praktijk duizend maal per seconde gebeuren. In het kader van het promotiewerk heb ik software ontwikkeld, die een voorspelling kan maken van de verdeling van signaalsterktes binnen gebouwen. Hierdoor kan een schatting worden gemaakt wat de winst is van een adaptief antennesysteem t.o.v. een conventioneel telefoontoestel, wanneer dit in een bepaald gebouw wordt gebruikt. De winst hangt met name af van het type gebouw, de plaats van de zender, de snelheid van voortbewegen en de snelheid van het elektronisch ronddraaien van het dubbele antennesysteem."

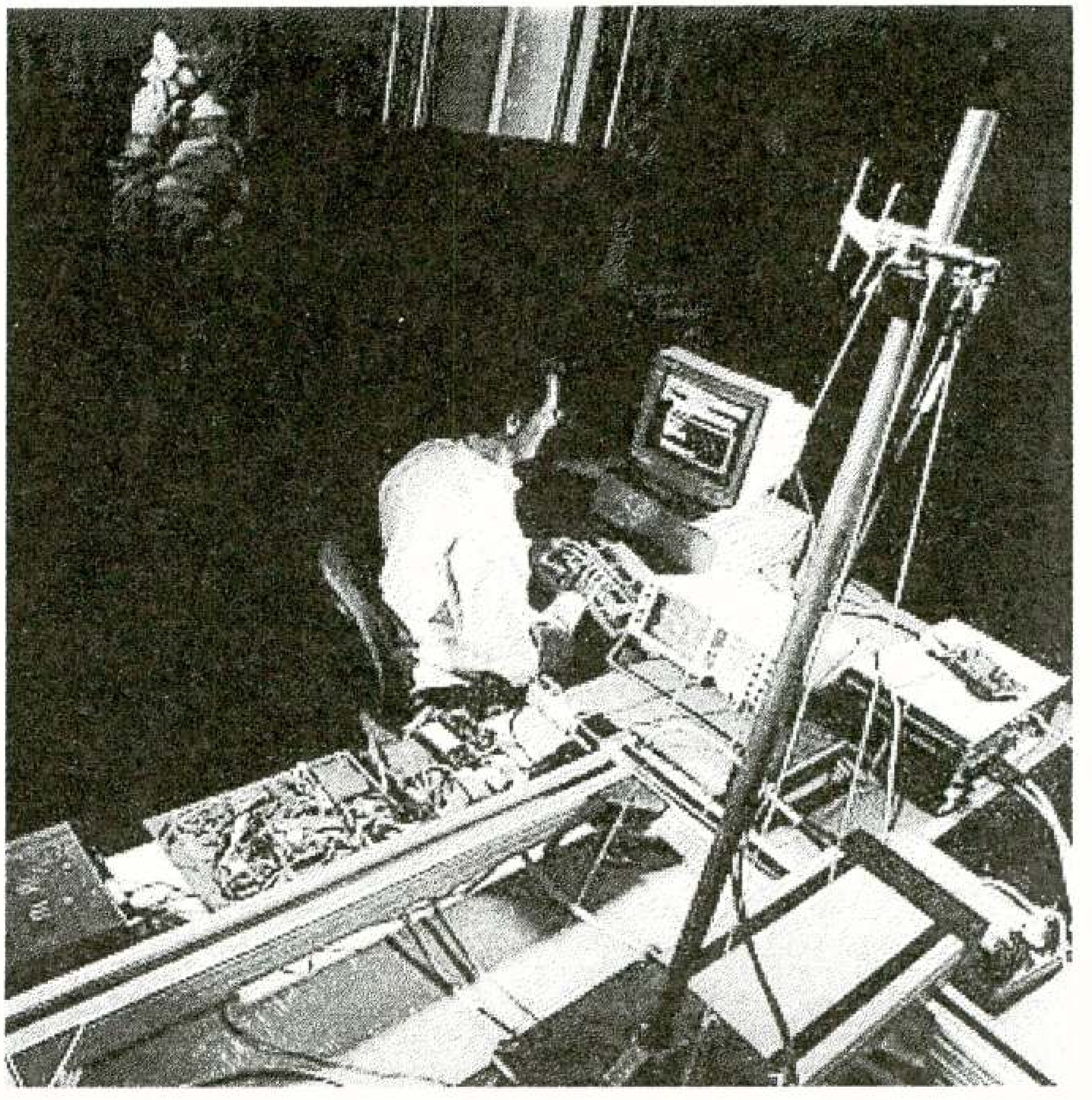


Foto: Meetopstelling bij Philips Research

Het werk heeft opvallend genoeg nogal veel aandacht gekregen in de landelijke pers. Het is uitgebreid beschreven in o.a. de Telegraaf, Volkskrant, Intermediair, de Ingenieur en heeft ook de landelijke radio gehaald. Dolmans: "De mobiele telefoon (GSM) is in een razend tempo populair geworden. Nieuwe ontwikkelingen zoals het gebruik van twee antennes om de kwaliteit te verbeteren staan erg in de belangstelling. Hierdoor zijn er artikelen over het promotiewerk in de landelijke en andere bladen verschenen."

Dolmans heeft na zijn promotie de overstap gemaakt naar het bedrijfsleven. Hij is bij Philips Research gaan werken. Deze nieuwe omgeving bevalt hem erg goed. Dolmans: "Het aardige van het werken binnen een internationaal en dynamisch bedrijf is dat je in aanraking komt met veel mensen buiten je eigen vakgebied. Het is een hele kunst om je eigen ideeën zodanig te vertalen dat ze daadwerkelijk binnen de bestaande randvoorwaarden van het productieproces verwezenlijkt kunnen worden. Een groot voordeel van een geïntegreerde research omgeving van het Philips Natlab is dat innovaties meteen uitgeprobeerd kunnen worden in een proeffabriek." Ambities naar de toekomst toe zijn er ook: "Voorlopig zijn er genoeg nieuwe uitdagingen ontstaan door de overstap van de fundamentele wetenschap van de universiteit naar de ontwikkelomgevingen van Philips. Hierdoor ontwikkel ik me tot een meer allround ingenieur met project verantwoordelijkheid. Op de wat meer langere termijn denk ik dat een mix van techniek en management weer een nieuwe uitdaging kan zijn."

Een aardige stelling uit zijn proefschrift is de volgende:

'Een open-deur cultuur bevordert niet alleen de interne communicatie tussen medewerkers, maar heeft tevens een positief effect op de kwaliteit van de telecommunicatieverbinding.'

Dolmans ter verklaring: "Een cultuur waarbij mensen op hun kamer zitten met hun deuren gesloten zie ik als belemmering voor een echte research omgeving. Voor research is het belangrijk dat mensen zonder drempel hun ideeën vrijelijk uitwisselen en van elkaar leren. Tevens blijkt uit de resultaten van de simulaties dat de elektromagnetische veldverdeling ook een stuk beter wordt als de deuren worden geopend."

Telecommunicatie

* * *

EFFECT OF INDOOR FADING ON THE PERFORMANCE OF AN ADAPTIVE ANTENNA SYSTEM

W.M.C. Dolmans
13 oktober 1997
Promotors: Prof.dr. A.G. Tijhuis, Prof.dr.ir. G. Brussaard en dr. M.E.J. Jeuken

In dit proefschrift worden de theoretische, numerieke en experimentele aspecten van het gebruik van adaptieve antennesystemen in gebouwen beschreven. Met behulp van deze systemen kunnen toekomstige capaciteits- en kwaliteitsvraagstukken van mobiele communicatie binnen gebouwen mogelijkerwijs worden opgelost. Adaptieve antennesystemen kunnen worden toegepast op een basisstation of op een mobiel telefoontoestel. Momenteel is de toepassing van adaptiviteit vaak beperkt tot het basisstation, waar door middel van spatiele filtering (SDMA-protocol) meerdere verbindingen in dezelfde frequentie- en/of tijdsloten worden geplaatst. De doelstelling van dit onderzoek is om de toepasbaarheid van adaptieve antennesystemen op een mobiel telefoontoestel te onderzoeken. Deze techniek is vooral van belang wanneer het systeem in een omgeving met wisselende signaalsterktes moet functioneren. Om de toepassing van adaptieve systemen te bestuderen zijn twee verschillende deterministische methodes ontwikkeld waarmee propagatie in verschillende indoor radio-kanalen kan worden beschreven. De analytische methode vertoont overeenkomsten met methodes die in de jaren zestig zijn ontwikkeld om het gedrag van telecommunicatiesystemen in mijnen en tunnels te onderzoeken. Deze methodes zijn op een dusdanige manier aangepast dat smalbandige elektromagnetische veldfluctuaties en *breedbandige meerwegpropagatie* binnen gebouwen kunnen worden voorspeld. Er is een schatting van de nauwkeurigheid van de oplossing gemaakt waarmee de rekentijd kan worden verkleind. De belangrijkste resultaten van de analytische methode zijn dat signaalfluctuaties groter den 30 dB en effectieve tijdsvertragingen van 500 ns kunnen optreden in hoogreflecterende gebouwen. De numerieke methode maakt gebruik van de eindige-differentie tijd-domein techniek (FDTD). Deze techniek wordt tegenwoordig veelvuldig toegepast voor de analyse van de elektromagnetische eigenschappen van een groot aantal configuraties. Numerieke dispersie en anisotropie van het traditionele tweede orde Yee algoritme beperken echter de toepasbaarheid van deze methode tot elektrische kleine configuraties. De toepasbaarheid van hogere orde technieken is nog beperkt omdat problemen met de absorberende randvoorwaarden en de materiaalovergangen moeten worden opgelost. Een nieuw algoritme, dat gebaseerd is op een combinatie van hogere orde interpolatie en een zeer nauwkeurige absorberende randvoorwaarde van Berenger, blijkt betere numerieke eigenschappen te bezitten. Met behulp van het ontwikkelde algoritme kan golfpropagatie worden voorspeld in het gebouw waarin de faculteit Elektrotechniek is gehuisvest. Het blijkt dat het sluiten of openen van deuren een merkbaar effect heeft op de veldverdeling binnen dit gebouw. Berekeningen met deze twee methodes laten zien dat er snelle signaalfluctuaties optreden. Door gebruik te maken van adaptieve antennes op de mobiele terminal zouden daarom grote verbeteringen kunnen worden bereikt. Adaptieve systemen zullen worden beoordeeld met een nieuwe definitie van de radiodekkingsgraad. De dekkingsgraad als functie van het uitgezonden vermogen wordt gebaseerd op de lokale signaal-ruis verhoudingen en de lokale bit fouten kansen. Deze twee grootheden worden voorspeld met behulp van de ontwikkelde propagatie modelleringsmethodes in combinatie met het Lorentz reciprociteits theorema. Veel aandacht is besteed aan diverse theoretische plaats en polarisatie diversity systemen. Uit de simulaties blijkt dat een diversity winst van 9 dB haalbaar is voor twee antennes met een onderlinge afstand van minder den een halve golflengte. Het gedrag van de polarisatie diversity ontvangers is slecht in vergelijking met de plaats diversity ontvangers. Dit wordt veroorzaakt door het verschil in de gemiddelde signaalniveaus in de twee polarisaties. Statistische gegevens uit de deterministische modeller worden vergeleken met resultaten van stochastische Rayleigh en

Rician modeller.

Door Philips Research Laboratories Eindhoven is een prototype diversity ontvanger gerealiseerd die gebaseerd is op adaptieve bundelsturing. Met behulp van de eerder besproken analytische en numerieke methode is de werking van dit prototype voorspeld. Dit adaptieve systeem is in staat om de ontvangen antennesignalen te combineren tot een vaste bundel en tegelijkertijd de omgeving af te tasten met draaiende bundels. Uit de discrete set antennepatronen wordt de vaste bundel gekozen. De signaal-ruis verhouding wordt hierbij als criterium gebruikt voor de instelling van de vaste bundel. De kwaliteit van dit systeem wordt sterk beïnvloed door de snelheid van de gebruiker, de tijd om een bundel te creëren, en het aantal discrete bundels. De invloed van deze drie parameters is meegenomen in de deterministische propagatiemodellen. Dit heeft geleid tot een complete en nauwkeurige beschrijving van de invloed van in-huis signaalfluctuaties op de kwaliteit van smalbandige en breedbandige adaptieve antennesystemen. Naast de eerder genoemde ontvanger zijn enkele alternatieve eenvoudige systemen voorgesteld. De winstfactoren van deze alternatieve structuren zijn vergelijkbaar met de winstfactor van de prototype ontvanger. De resultaten leiden tot de conclusie dat adaptieve systemen geschikt zijn om een hoge kwaliteitsverbetering te halen, zelfs wanneer de snelheid van de gebruiker erg hoog is. Tenslotte zijn de resultaten experimenteel geverifieerd.

INFORMATION THEORETICAL ASPECTS OF TWO-WAY COMMUNICATION

H.B. Meeuwissen
7 mei 1998
Promotors: Prof.dr.ir. J.P.M. Schalkwijk en Prof.dr. E.C. van der Meulen

In 1960 introduceerde C.E. Shannon op het Fourth Berkeley Symposium het tweewegcommunicatiekanaal evenals het probleem om hiervan het capaciteitsgebied te bepalen. Aldus definieerde Shannon het vraagstuk om gelijktijdig in beide richtingen over het tweewegkanaal te communiceren op een zo effectief mogelijke wijze. Veel communicatiekanalen zijn van nature tweewegkanalen. Ontwerpers van communicatiesystemen gebruiken echter vaak technieken zoals time-sharing om ze op te splitsen in twee onafhankelijke eenwegkanalen. Dit proefschrift beschouwt verschillende methoden om het tweewegkanaal efficiënter te benutten. We zullen in het bijzonder de rol van feedback onderzoeken, omdat feedback inherent is aan communicatie over tweewegkanalen. Hoofdstuk 1 probeert te reconstrueren hoe Shannon de ideeën ontwikkelde die ten grondslag liggen aan het tweewegkanaal. Vanuit wiskundig oogpunt veralgemeniseert Shannon's artikel resultaten uit zijn eerdere 'key papers' met de titels 'Certain Results in Coding Theory for Noisy Channels' en 'Channels with Side Information at the Transmitter'. Wat waren de drijvende krachten die hem aanzetten tot deze veralgemenisering? Had hij mogelijke toepassingen of reeds bestaande kanalen in gedachten? Hoe keken Shannon, zijn collega's van Bell Labs en zijn tijdgenoten tegen communicatieproblemen aan in het eind van de jaren vijftig en het begin van de jaren zestig? We zochten naar antwoorden op dit soort vragen door beroemde onderzoekers te interviewen die bekend zijn met het onderwerp of er zelfs aan hebben bijgedragen. Hoofdstuk 2 is een uitgebreide introductie op het discrete geheugenloze tweewegkanaal K. Shannon's binnen- en buitengrensgebieden aan het capaciteitsgebied van K worden op moderne wijze afgeleid met behulp van concepten als 'jointly typical sequences' en de Fano-ongelijkheid. We laten expliciet zien dat Shannon's grenzen verschillend zijn voor Blackwell's vermenigvuldigingskanaal dat ook wel het binair vermenigvuldigingskanaal wordt genoemd. Dientengevolge is juist dit tweewegkanaal van bijzonder belang voor onderzoek aan tweewegkanalen in het algemeen. Het capaciteitsgebied van sommige tweewegkanalen is daadwerkelijk gevonden met behulp van criteria die het samenvallen van de binnen en buitengrenzen garanderen. Verder bespreken we een voorbeeld van een niet-deterministisch tweewegkanaal waarvoor sommige paren van transmissiesnelheden in het binnengrensgebied van Shannon alleen kunnen worden verkregen door time-sharing. Dit bewijst dat de 'convex hull' in de definitie van het binnengrensgebied essentieel is voor niet-deterministische kanalen. Het capaciteitsgebied van tweewegkanalen met verschillende binnen- en buitengrensgebieden wordt beschreven door een limietexpressie. Deze expressie is gebaseerd op de binnengrensgebieden Bn van de afgeleide kanalen Kn van het discrete geheugenloze tweewegkanaal K. Hoofdstuk 3 laat zien dat een codeerstrategie voor het deterministische discrete geheugenloze tweewegkanaal kan worden gevisualiseerd als een steeds nauwkeuriger opdeling van het eenheidsvierkant. We bespreken Schalkwijk's 1982 strategie. Deze strategie voor het binair vermenigvuldigingskanaal bestaat uit zogenoemde binnengrensresoluties, tussenliggende resolu-

ties en buitengrensresoluties, en bereikt een 'equal rate point' buiten het binnengrensgebied van Shannon. We laten zien dat de binnengrensgebieden Bn van de afgeleide kanalen Kn van het discrete geheugenloze tweewegkanaal K ook kunnen worden onderzocht met behulp van de methode van opdeling van het eenheidsvierkant. De bijbehorende opdelingen worden Shannonstrategieën genoemd. Het vinden van de beste Shannonstrategie voor het afgeleide kanaal Kn van het binair vermenigvuldigingskanaal is equivalent met het oplossen van een optimaliseringsprobleem met3n-1 drempelparameters die waarden kunnen aannemen van 0 tot en met 1. We bespreken verschillende oplossingen voor waarden van n tot en met 7.

Hoofdstuk 4 gaat over het vinden van opdelingen van het *M1 x M2* vierkant; dit is het eenheidsvierkant met daarop een *M1 x M2* rooster afgebeeld. In het eerste gedeelte van dit hoofdstuk gebruiken we een combinatorische benadering. We laten zien dat het vinden van codeerstrategieën voor deterministische discrete geheugenloze tweewegkanalen overeenkomt met het oplossen van een combinatorisch optimalisatieprobleem. Er worden nieuwe oplossingen voor dit zoekprobleem gegeven met betrekking tot het binair vermenigvuldigingskanaal. In het tweede gedeelte gebruiken we een informatietheoretische benadering. Dit resulteert in discrete opspaarstrategieën. We geven verschillende voorbeelden van strategieën voor het binair vermenigvuldigingskanaal en een tabel met bereikbare transmissiesnelheden voor waarden van $M = M1 = M2$ tot en met 35. Tenslotte geven we een exact bereikbaarheidsbewijs dat van toepassing is op de verschillende discrete codeerstrategieën die in dit hoofdstuk besproken worden. Hoofdstuk 5 gaat aanvankelijk uit van de 1982 strategie. We laten zien hoe Slepian-Wolf broncodering voor gecorreleerde bronnen in combinatie met een techniek die bootstapping wordt genoemd, gebruikt kan worden om de transmissie snelheden van de 1982 strategie te verbeteren. Dit resulteert in Schalkwijk's 1983 strategie. Deze strategie elimineert de weinig effectieve tussenliggende resoluties hetgeen inhoudt dat de strategie alleen maar bestaat uit binnengrens- en buitengrensresoluties. Vanwege de inherente schoonheid en eenvoud werd in eerste instantie vermoed dat de 1983 strategie optimaal was. Latere verbeteringen van de transmissiesnelheden in de achtste decimale plaats toonden echter aan dat dit niet het geval was. Hoofdstuk 6 gaat aanvankelijk uit van de 1983 strategie. Allereerst construeren we de alternatieve 1983 strategie. Door vervolgens zowel een winst als een verlies teweeg te brengen ten aanzien van deze strategie, verkrijgen we de uitgebreide 1983 strategie. In het kort gezegd verliezen we een gedeelte van de buitengrensresoluties, maar verwerven we efficiëntere reeksen van resoluties die we ontlenen aan de discrete opspaarstrategieën uit Hoofdstuk 4. Dit levert de huidige ondergrens aan het capaciteitsgebied van het binair vermenigvuldigingskanaal op. Vanwege de ingewikkeldheid van de uitgebreide 1983 strategie lijkt het alsof verdere wezenlijke verbeteringen, indien mogelijk, moeten komen van onderklassen van resolutiestrategieën, d.w.z. klassen die niet noodzakelijkerwijs het capaciteitsgebied opleveren.

Hoofdstuk 7 beschrijft families van beperkte resolutiestrategieën voor het binair vermenigvuldigingskanaal. Het lijkt een veelbelovend idee om eventuele situaties waarin beide terminals tegelijkertijd een '0' zenden te vermijden. Het eerste gedeelte van het hoofdstuk bespreekt dus strategieën die het resultaat zijn van een tweedimensionale weegprocedure van boodschappunten. De resoluties van deze procedure voldoen aan de bovenstaande beperking. Het tweede gedeelte legt zich toe op de overeenkomst tussen codeerstrategieën en fractals. Het idee is nu om een zeer groot aantal identieke binnengrensresoluties uit te voeren en om vervolgens de resulterende binnengrensfractal zodanig op te delen dat 'self-similarity' behouden blijft. Hoofdstuk 8 begint met een bespreking van tweewegkanalen met semifeedback, d.w.z. feedback voor slechts een terminal. We laten voor het binair vermenigvuldigingskanaal zien hoe bootstapping in combinatie met een techniek die message percolation wordt genoemd, gebruikt kan worden om transmissiesnelheden buiten het binnengrensgebied van Shannon te verkrijgen. Het is nog steeds niet bekend of het capaciteitsgebied met semi-feedback strikt gezien kleiner is dan het capaciteitsgebied met feedback aan beide terminals. De rest van het hoofdstuk behandelt meer praktische tweewegkanalen en in het bijzonder het tweewegkanaal met vertraging dat een mooi voorbeeld is van een kanaal met Shannon's 'recoverable state property.' We sluiten af met op te merken dat feedback nog steeds een van de belangrijkste en minst begrepen aspecten is van communicatienetwerken.

---

* * *

FORMAL METHODS FOR THE VERIFICATION OF DIGITAL CIRCUITS

C.A.J. van Eijk
9 September 1997
Promotor: Prof. Dr.-Ing. J.A.G. Jess, Prof. Dr. J.C.M. Baeten en dr.ir. M.R.C.M. Berkelaar

Door de steeds toenemende complexiteit van de hedendaagse digitale systemen en de vereiste korte ontwerptijden wordt het steeds moeilijker om correcte elektronische schakelingen te ontwerpen. Daarom is het noodzakelijk om gedurende het gehele ontwerpproces van deze schakelingen te controleren dat er geen fouten worden gemaakt. Deze activiteit wordt aangeduid met de term *verificatie*. Traditioneel wordt een ontwerp geverifieerd door het uitgebreid te simuleren. Deze benadering is echter niet meer toereikend, omdat het simuleren teveel tijd vergt en bovendien niet kan garanderen dat een ontwerp correct is. Een van de benaderingen die zijn voorgesteld om deze problemen op te lossen is formele verificatie. Het belangrijkste kenmerk van deze aanpak is dat met behulp van formele methoden getracht wordt om een wiskundig bewijs op te stellen voor de correctheid van het ontwerp. In dit proefschrift bespreken we formele methoden voor de verificatie van synchrone digitale schakelingen. Met name beschrijven we methoden voor de verificatie van schakelingen die gespecificeerd zijn op de abstractienivo's die in het Engels worden aangeduid met "register transfer level" en "gate level". Dergelijke methoden kunnen in de praktijk worden gebruikt om te verifiëren dat een bepaalde ontwerpstap de functionaliteit van een schakeling niet ongewenst heeft gewijzigd. We richten ons vooral op formele verificatiemethoden met een hoge graad van automatisering en met voldoende kracht om schakelingen van industriële complexiteit te verwerken. Theoretisch behoren de meeste problemen gerelateerd aan de formele verificatie van digitale schakelingen tot complexiteitsklassen waarvoor geen polynomiale algoritmen bekend zijn. Daarom is het niet mogelijk om verificatiemethoden te ontwikkelen die elk probleemgeval gegarandeerd in een redelijk tijdsbestek kunnen afhandelen. Er is dus duidelijk een andere aanpak nodig om methoden te ontwikkelen die in de praktijk toereikend functioneren. In dit proefschrift gebruiken we een benadering die gebaseerd is op de observatie dat de schakelingen die geverifieerd moeten worden vaak bepaalde overeenkomsten vertonen. We stellen verificatiemethoden voor die krachtige algemene verificatie-algoritmen combineren met technieken om deze overeenkomsten te benutten. Deze benadering wordt toegepast op de volgende drie verificatieproblemen.

Het eerste probleem dat we beschouwen betreft het aantonen van de functionele equivalentie van combinatorische schakelingen. We richten ons op de verificatie van schakelingen die geoptimaliseerd zijn met logische syntheseprogramma's. Deze syntheseprogramma's hebben typisch een beperkte invloed op de structuur van een schakeling. Daarom is het mogelijk om in de schakelingen voorafgaand aan en volgend op synthese signalen aan te wijzen die dezelfde functie implementeren. We laten zien hoe een bekende verificatiemethode gebaseerd op zogenaamde "binary decision diagrams" (BDD's) uitgebreid kan worden om automatisch deze signalen te detecteren en te benutten. Dit resulteert in een methode die voldoende krachtig is om schakelingen ontworpen in een industriële omgeving te verifiëren.
Het tweede verificatieprobleem waarop we ons in dit proefschrift richten is het verifiëren van sequentiële schakelingen met gelijke toestandscoderingen. We laten zien dat indien de initiële waarde van ieder register bekend is, overeenkomende registers automatisch bepaald kunnen worden door een reeks combinatorische verificatieproblemen op te lossen. Dit betekent dat combinatorische verificatiemethoden eenvoudig uitgebreid kunnen worden om automatisch de registercorrespondentie te achterhalen. Daarom is het in de praktijk niet nodig om te eisen dat de registercorrespondentie expliciet opgegeven wordt of uit de namen van de registers afgeleid kan worden.
Het derde en meest algemene verificatieprobleem dat we beschouwen in dit proefschrift is het controleren van de functionele equivalentie van sequentiële schakelingen. We stellen een verificatiemethode voor die het gebruik van BDD's combineert met de detectie van functionele afhankelijkheden. Deze afhankelijkheden worden gebruikt om de relatie tussen de toestandscoderingen van beide schakelingen te benutten. Ze kunnen in het algemeen bepaald worden tijdens het berekenen van de bereikbare toestandsruimte van de zogenaamde produktmachine. We beschrijven ook twee technieken om functionele afhankelijkheden te bepalen voordat de bereikbare toestandsruimte is berekend. Het benutten van deze afhankelijkheden heeft duidelijk een positieve invloed op de efficiëntie waarmee de verificatie uitgevoerd kan worden, en in

een aantal gevallen leidt het ook tot de verificatie van aanzienlijk grotere schakelingen.
Om de complexiteit van sequentiële verificatie te beheersen is het nodig om de produktmachine op te delen in een aantal kleinere deelmachines die ieder afzonderlijk geanalyseerd kunnen worden. Om daadwerkelijk van deze aanpak te kunnen profiteren is het in het algemeen noodzakelijk om van de gedetailleerde interacties tussen deze deelmachines te abstraheren. Daarom onderzoeken we het nut van abstractietechnieken in de context van sequentiële verificatie. We stellen een geschikt abstractiemechanisme voor en presenteren een verificatiemethode die dit mechanisme gebruikt om de produktmachine op te delen. Ook beschrijven we abstractietechnieken die gebruikt kunnen worden om aan te tonen dat twee sequentiële schakelingen niet equivalent zijn.

A BOTTOM-UP APPROACH TO MULIPLE-LEVEL LOGIC SYNTHESIS FOR LOOK-UP TABLE BASED FPGA's

F.A.M. Volf
29 september 1997
Promotors: Prof.ir. M.P.J. Stevens, Prof.Dr.-Ing. J.A.C. Jess en dr.ir. L. Józwiak

Despite the fact that the automatic hardware synthesis of complex digital circuits and systems has been an important topic of research during the last two decades, many synthesis problems are still not solved in a satisfactory way. This thesis deals with one of these problems: the multiple-level synthesis of Boolean functions for implementations with look-up table based Field-Programmable Gate Arrays (FPGAs). The topic addressed in this thesis is very important for many reasons. Perhaps, the two most important reasons are the following. Firstly, FPGAs have a number of important advantages compared to the other implementation techniques, and therefore the use of look-up table based FPGAs for the implementation of digital systems has increased dramatically over the last few years. Secondly, due to the internal structure of FPGAs, traditional logic synthesis methods cannot be applied to them without extensive modifications and additions, and even modified they have some fundamental shortcomings.
In this thesis, an original approach to the general (functional) decomposition of Boolean functions into multiple-level networks of look-up tables is proposed. The approach has four main characteristic features. The first of them is the use of set systems that provides a compact maximal functionally complete representation of logic blocks and Boolean functions, whereas traditional logic synthesis methods use minimal functionally complete representations. Secondly, a compositional bottom-up approach is used for the synthesis; this is different from all other known functional decomposition methods that use a top-down reduction approach. Thirdly, the proposed method searches explicitly for common subfunctions, whereas other methods find subfunctions only implicitly as the by-product of the synthesis process. Finally, the method does not use two-level minimisation prior to the actual multiple-level synthesis what enables the exploitation of the whole design freedom during the actual multiple-level synthesis

Because of the computational complexity of the considered logic synthesis problem, it was necessary to develop some heuristic algorithms to make the synthesis method effective and efficient. For the research of general decompositions a software environment called LUTSYN (Look-Up Table SYNthesis) has been created. LUTSYN is specially designed to provide a lot of internal information, so the program can be experimentally used for research purposes, and especially for analysis and fine-tuning of all heuristic parts of the algorithms. The primary goal of the synthesis process is to minimise the number of look-up tables that are used to implement a given Boolean function. Additional goals consist of minimising the number of levels in the lookup table network (which is the main contribution to speed of the resulting circuit) and to minimise the number of long wires (what improves both the routability and speed of the FPGA). The implemented algorithm allows the trade-off between the quality of the synthesis results and the computer resources used to find an implementation. Although LUTSYN is not yet a complete automated synthesis tool, it can be used as a prototype automatic logic synthesis tool. Preliminary results show that the algorithm performs well compared to other known methods. A more complete analysis of the results will be available in the nearest feature.

LOSSLESS DATA COMPRESSION IN VLSI

L.C. Benschop
2 december 1997
Promotors: Prof.ir. M.P.J. Stevens, Prof.dr.-Ing J.A.G. Jess en dr.ir. A.C. Verschueren

Datacompressie maakt het mogelijk meer data op

hetzelfde medium op te slaan of meer data over hetzelfde kanaal te versturen. Wanneer gebruik wordt gemaakt van media of kanalen met een hoge snelheid, wordt datacompressie met een hoge snelheid gewenst. Software-implementaties zijn vaak niet snel genoeg. Doel van dit onderzoek is het ontwerp van een VLSI schakeling die LZH (LempelZiv en Huffman) compressie uitvoert met een snelheid van 100Mbit per seconde. De gecomprimeerde data is compatibel met bestaande compressiesoftware. We onderzochten alle eisen die aan zo'n schakeling gesteld worden en creeerden een specificatiedocument. De VLSI schakeling kan gebruikt worden als een randapparaat binnen een normaal computersysteem en werkt onafhankelijk van de centrale processor. Door middel van DMA worden de in- en uitvoerdata in het RAM gelezen en geschreven. We creëerden een gedetailleerde architectuur bestaande uit verscheidene communicerende modules: een bus-interface, een 'sliding window coder', een buffer- en statistiekmodule, een Huffman-coder en een interne processor. Delen van het compressiealgoritme worden in software geïmplementeerd op de interne processor. De chip gebruikt een externe RAM en bevat verscheidene interne geheugens. Dit proefschrift bevat een zeer gedetailleerde beschrijving van het ontwerpproces en alle ontwerpbeslissingen die tot deze architectuur geleid hebben. We implementeerden en simuleerden verscheidene essentiële delen van de chip. We gebruikten verscheidene simulatiemethoden op verschillende niveaus. Veel beslissingen zijn gebaseerd op simulatieresultaten. Om de gewenste snelheid voor de 'sliding window coder' te behalen, hebben we besloten deze als associatieve array te implementeren. Associatieve arrays zijn arrays van identieke cellen die hun inhoud kunnen vergelijken met een bepaalde waarde (vgl. associatieve geheugens) en bewerkingen kunnen uitvoeren. Zij kunnen een dramatische snelheidsverbetering "even voor sommige algoritmes, vooral 'sliding window coding'. Verscheidene variaties van deze array werden onderzocht. De array voor 'sliding window coding' is het grootste onderdeel van de chip en overheerst de kosten. Men kan verschillende versies van de chip maken, met een sliding window coder van verschillende grootte, maar met onderling uitwisselbare gecomprimeerde data. We kunnen concluderen dat de chip gefabriceerd kan worden en aan de gestelde eisen voldoet.

DESIGN FOR TEST & DEBUG IN HARDWARE/SOFTWARE SYSTEMS

H.P.E. Vranken
2 juni 1998
Promotors: Prof.ir. M.T.M. Segers, Prof.ir. M.P.J. Stevens en dr.ir. J.P.M. Voeten

Dit proefschrift beschrijft onderzoek naar de ontwikkeling van een generieke methode voor 'design for test & debug' in hardware/software systemen. Deze methode verschaft oplossingen voor de complexe problemen gerelateerd aan testen en debugger op systeem niveau. Het doel van testen op systeem niveau is te verifiëren of het gedrag van de hardware/software implementatie van een systeem overeenkomt met het gespecificeerde systeemgedrag. Debuggen is nodig om de exacte oorzaak te achterhalen van de fouten die door testen aan het licht zijn gebracht. Een "root probleem bij het testen en debugger van hardware/software systemen is de beperkte zichtbaarheid van het interne systeemgedrag. Sommige aspecten van het interne systeemgedrag zijn bijzonder moeilijk te observeren en te controleren in de externe omgeving van het systeem, zoals de volgorde van events in het systeem, de wisselende executie van processen, tijd afhankelijkheden en non-deterministisch gedrag. In onze 'design for test & debug' methode worden deze problemen opgelost door het verbeteren van de controleerbaarheid en observeerbaarheid van het interne systeemgedrag. Wij geven diverse classificaties voor fouten in hardware/software systemen. We concentreren ons op foutieve communicatie en synchronisatie protocollen, foutieve wederzijdse exclusieve toegang tot gezamenlijke gegevens of gezamenlijke middelen, foutieve executie volgordes van processen, deadlocks, race condities en foutieve interrupt afhandeling. Deze fouten doen zich typisch voor als tijdelijke fouten gedurende de executie van een systeem en ze kunnen vaak niet gereproduceerd worden tijdens debugger.

In dit proefschrift definiëren we een ontwerp proces bestaande uit zes stappen: opstellen van systeem eisen, systeem specificatie, architectuur onderzoek, architectuur verfijning, synthese en hardware/software integratie. Onze 'design for test & debug' methode is volledig geïntegreerd in dit ontwerp proces. Wij definiëren een generiek architectuur-model voor hardware/software systemen, bestaande uit applicatie software, systeem software, hardware nucleus, applicatie-specifieke hardware en communicatie interfaces. Onze 'design for test & debug' methode is gericht op het verbeteren van de zichtbaarheid van de communicatie interfaces in het

architectuur-model. Tevens verschaft onze 'design for test & debug' methode zichtbaarheid in de toestand van software processen en hardware componenten. Het belangrijkste element van onze methode is het invoegen van Punten van Controle en Observatie (PCOs) in de systeem specificatie. PCOs verschaffen controle en observatie van communicatie interfaces en de toestand informatie van processen. We nemen de PCOs vervolgens op in de systeem architectuur en tenslotte implementeren we de PCOs in hardware en/of software. Onze methode voorziet erin dat de essentiële informatie over het interne systeemgedrag kan worden gecontroleerd en geobserveerd. Onze methode impliceert tevens dat de effecten van PCOs op de systeem architectuur van tevoren kunnen worden voorspeld en dat gepaste maatregelen kunnen worden genomen om onduldbare neveneffecten te vermijden. We beantwoorden twee belangrijke vragen aangaande het invoegen van PCOs in de systeem specificatie: waar moeten PCOs worden ingevoegd in de systeem specificatie en wet zijn de effecten van het invoegen van PCOs op het systeemgedrag. We introduceren testbaarheids-analyse gebaseerd op scenario's om het invoegen van PCOs in goede banen te leiden. Deze analyse methode identificeert allereerst de essentiële informatie in een systeem en vervolgens hoe goed deze essentiële informatie kan worden gecontroleerd en/of geobserveerd in de systeem omgeving. We "even een mathematische analyse van de interferentie van PCOs in het systeemgedrag, gebruik makende van proces algebra. We definiëren een aantal - mathematisch bewezen - transformatie functies voor het invoegen van PCOs. Deze transformatie functies garanderen dat het extern observeerbare systeemgedrag behouden blijft gedurende het invoegen van PCOs.

We lichten de implementatie van PCOs toe in hardware en software. We laten zien dat PCOs efficiënt kunnen worden geïmplementeerd in hardware door hergebruik van DFT en DFD faciliteiten op IC niveau zoals 'scan paden'. De test bussen, test interfaces en test controllers op PCB niveau en systeem niveau kunnen een infrastructuur verschaffen om toegang tot PCOs te verkrijgen. Verdere verbetering van de controleerbaarheid en observeerbaarheid van het interne systeemgedrag kan worden verkregen door gebruik te maken van speciale software monitoren, hardware monitoren of hybride monitoren. We passen onze 'design for test & debug' methode toe op de specificatie en de implementatie van een liftbesturingssysteem. Diverse experimenten demonstreren het gebruik en het nut van PCOs voor testen en debugger op systeem niveau.

CONTROLLABILITY ANALYSIS OF INDUSTRIAL PROCESSES

J.H.A. Ludlage
11 november 1997
Promotors: Prof.dr.ir. A.C.P.M. Backx, Prof.ir. O.H. Bosgra en dr. A.A. Stoorvogel

Industriële toepassing van multivariabele regelsystemen hebben in de laatste twee decennia een grote vlucht genomen. Heden ten dage vormen regelproblemen bestaande uit twintig tot dertig uitgangen en tien tot vijftien ingangen geen uitzondering. Ook de aan de regeling gestelde eisen, ten aanzien van nauwkeurigheid, betrouwbaarheid en flexibiliteit zijn gedurende deze tijd sterk toegenomen. Een gevolg van deze ontwikkelingen is dat zowel het ontwerp als de afregeling van deze regelaars erg complex is geworden. Een beter en meer gedetailleerd inzicht in de regelbaarheid van het proces is noodzakelijk.

Centraal staat de vraag in hoeverre het gedrag van het proces, het zogenaamde open lus gedrag, beperkingen legt op het geregelde gedrag, het zogenaamde gesloten lus gedrag. Hoewel inzicht in de regelbaarheid van het proces essentieel is voor het ontwerp is hierover slechts weinig bekend. Het bovenstaande probleem resulteert in een vicieuze cirkel: Om het gesloten lus gedrag te kennen heeft men de corresponderende regelaar nodig. Om deze regelaar te ontwerpen heeft men echter het te verkrijgen gesloten lus gedrag nodig. Om deze cirkel te doorbreken is gebruik gemaakt van het 'internal model controller scheme'. Het grote voordeel van deze formulering is dat het ontwerp van de regelaar equivalent is aan het vinden van een stabiele benaderende inverse van het proces gedrag. Hierdoor is, gebruikmakende van een model van het proces, een directe en inzichtelijke relatie verkregen tussen het procesgedrag (het model) en het gewenste gesloten lus gedrag. Bestaande technieken op dit gebied zijn in het algemeen beperkt tot hoe een specifiek aspect van het procesgedrag de regelbaarheid in het algemeen beïnvloedt. Een gedetailleerd inzicht hoe dit doorwerkt op de verschillende gestelde eisen, welke eisen strijdig zijn en hoe zij bijgesteld dienen te worden, "even deze technieken in het algemeen niet. In het eerste gedeelte van het onderzoek is getracht om deze bestaande technieken verder

te ontwikkelen om meer gedetailleerd inzicht te verkrijgen in de regelbaarheid van een proces en de relatie die dit heeft tot de gestelde eisen. De nieuw ontwikkelde inzichten leiden tot een goed inzicht in de mechamismen die een rol spelen in het beïnvloeden van de richting waarin zowel niet minimum fase nulpunten als ook de singuliere waarden van het open lus systeem, zich manifesteren in de gesloten lus overdrachtsmatrix. Verder resulteren de ontwikkelde technieken in een inzicht in het specifieke gedrag van slecht geconditioneerde systemen. Een belangrijk nadeel van de ontwikkelde technieken blijft echter dat zij slechts inzicht verschaffen over de beperking die deelaspecten van het procesgedrag hebben op de regelbaarheid. Een gedetailleerd inzicht in regelbaarheid van het totale proces wordt hierdoor in sterke mate bemoeilijkt.

In het tweede gedeelte van het onderzoek is daarom gekozen voor een geheel nieuw concept gebaseerd op de gestelde eisen aan de regeling. Het is mogelijk gebleken op basis van dit concept te komen tot een veel gedetailleerder inzicht in de regelbaarheid van het regelprobleem: De regelbaarheid van het proces gerelateerd aan de gestelde eisen. De regelbaarheid kan worden onderzocht gebaseerd op zowel het frequentie domein als op eindige tijdbasis. De frequentie domein techniek is specifiek bedoeld voor toepassing met tijdinvariante regelaars met een vaste structuur. De ontwikkelingen leiden tot nieuwe inzichten in het vierkant maken van niet vierkante processen. De eindige tijd techniek is specifiek bedoeld voor toepassing met model predictieve regelingen. Het is met name de eindige tijdsdomein formulering die heeft geleid tot geheel nieuwe fundamentele inzichten in de relatie tussen procesgedrag en regelbaarheid. De toepasbaarheid van beide methodieken wordt geïllustreerd aan een industriële applicatie.

Halfgeleidertechnologie

* * *

TWO AND THREE TERMINAL DOUBLE BARRIER RESONANT TUNNELING DEVICES

M. I. Lepsa
12 november 1997
Promotors: Prof.dr.-ing. L.M.F. Kaufmann, Prof.dr. D. Lenstra en dr.ir. Th.G. van de Roer

Double Barrier Resonante Tunneldioden (DBRT's) behoren tot de nieuwe generatie van (opto-) elektronische componenten gefabriceerd van III-V verbindings halfgeleidermaterialen waarvan de eigenschappen bepaald worden door quantumeffekten. Deze konden dankzij de vooruitgang in moderne epitaxiale groeitechnieken, met name de Moleculaire Bundelepitaxie (MBE) en de Metaalorganische Gasfase-epitaxie (MOVPE) worden ontwikkeld en representeren een toets voor de kwaliteit van de lagen die met behulp van deze technologieën worden vervaardigd. De toegenomen interesse in DBRT's wordt mede bepaald door de potentiële toepassingen bij hoogfrequente elektronica, zoals oscillatoren en schakelende houwstenen (sampling, triggeren en logische toepassingen). Tijdens het promotie onderzoek werden enkele fysische aspekten van de DBRT-diode met twee contacten (2T - DBRT) bestudeerd en een voorstel uitgewerkt voor de realisatie van een DBRT-device bouwsteen met drie contacten (3T - DBRT) met de quantumput als basiscontact. Om deze bouwsteen te kunnen realiseren zijn uitgebreide studies op het gebied van de halfgeleidenechnologie, de elektrische karakterisatie en het fysische modelleren uitgevoerd, mede met aandacht voor mogelijke en inherente afhankelijkheden.

De epitaxiale GaAs/AlGaAs-strukturen voor de 2T en 3T DBRT's zijn gegroeid met behulp van de MBE-faciliteit bij de Leerstoel Vaste Stof Fysica, Faculteit Technische Natuurkunde, TUE. Alle technologische aspekten die gerelateerd zijn aan de bouwsteenfabricage zijn in detail onderzocht en geoptimaliseerd in de "cleanroom" van de Leerstoel Elektronische Bouwstenen. Faculteit Elektrotechniek, TUE. Met als centraal aspekt het ontwerpen van de componenten zijn in het bijzonder de fotolithografie voor lift-off processen, natchemische etstechnieken voor het selectief etsen van GaAs resp. AlGaAs en de

elektrolytische gouddepositie voor luchtbruggen onderzocht. De resultaten zijn gebruikt om een maskerset te realiseren waarmee planaire 2T en 3T bouwstenen met verschillende afmetingen kunnen worden vervaardigd. De contact-verbinding met behulp van een luchtbrug maakt deel uit van een van de ontwerpen. De contactgeometrie staat toe om microgolfmetingen op de chip uit te voeren (on-wafer design). Planaire 2T GaAs/AlAs en $GaAs/Al_{0.4}Ga_{0.6}As$ DBRT's zijn gerealiseerd zowel met conventionele contacten, als ook met luchtbrugtechnologie. Bij kamertemperatuur (en lager) zijn DC metingen uitgevoerd. De resultaten van metingen bij 300 K aan GaAs/AlAs DBRT's zijn, bij vergelijkbare geometrie, in overeenstemming met literatuurwaarden. De gegevens vormden de basis voor de vergelijkende analyse van de twee typen van componenten. De metingen bij lagere temperatuur (tot 15 K) zijn benut voor de studie naar mogelijke tunnelmechanismen. Om de resultaten van de DC metingen kwalitatief en kwantitatief te verklaren, is gebruik gemaakt van de resultaten van het fysisch modelleren van de I-V karakteristiek van de DBRT's. On-wafer microgolfmetingen zijn eveneens uitgevoerd en geanalyseerd.

De realisatie en karakterisatie van 3T DBRT's was het hoofddoel van dit werk. Voor dit type bouwsteen zijn alleen epitaxiale GaAs/AlAs-structuren gebruikt. De technologische realisatie kon alleen bewerkstelligd worden door de inzet van zeer selectieve etsprocessen, aangezien het contacteren van de uiterst dunne quantum put (5 nm) essentieel is voor het basiscontact. Hiertoe is zowel de natchemische- als ook de beschikbare droge etstechnologie onderzocht. Ook deze bouwstenen zijn in het temperatuurbereik (80 - 300 K) onderzocht. De verkregen resultaten tonen zonder enige twijfel aan, dat de basis gecontacteerd is aan de quantum put en de collector-emitter I-V-karakteristiek beïnvloed wordt door de elektrische potentiaal aan de basis. De resultaten konden kwalitatief verklaard worden met behulp van het energieschema van de DBRT-structuur. De overdrachts-karakteristiek (de collectorstroom als funktie van de basisstroom) toont de voorspelde, abrupte schakelkarakteristiek. Met behulp van microgolfmetingen konden de conclusies uit de DC metingen worden bevestigd. De schakeltijd van de DBRT kon met behulp van het basis contact, op een veel eenvoudiger manier bepaald worden den eerder in de literatuur aangegeven is. De experimentele waarde (~ 42 ps) is in overeenstemming met de theoretisch geschatte waarde. De conclusie is, dat het rechtstreeks kontakteren van DBRT quantum putten dus praktisch mogelijk is. De resultaten van dit onderzoek kunnen benut worden voor verder onderzoek naar resonante tunnelfenomenen en bijdragen tot de ontwikkeling van belangrijke toepassingen op het gebied van snelle elektronika.

Elektrische machines

* * *

GREY-BOX IDENTIFICATION OF INDUCTION MACHINES: On-line and off-line approaches

R.J.A. Gorter
3 december 1997
Promotors: Prof.dr.ir. P.P.J. van den Bosch, Prof.dr.ir. A.J.A. Vandenput en dr.ir. A.A.H. Damen

Om inductiemachines in moderne elektrische aandrijvingen te regelen wordt tegenwoordig gebruik gemaakt van regelaars die gebaseerd zijn op een machinemodel. De voordelen van een inductiemachine worden den ook pas volledig benut wanneer de modelparameters bekend zijn. Helaas zijn deze parameters niet eenvoudig te bepalen en veranderen ze bovendien door temperatuur- en verzadigingseffecten. Doelstelling van dit onderzoek is het ontwikkelen en testen van methoden die de machineparameters identificeren aan de hand van eenvoudig meetbare signalen, dat wil zeggen de spanningen en stromen aan de machineklemmen en de mechanische positie of snelheid. Verder is er onderzocht of het mogelijk is parameters zonder positie en/of snelheidssensor te schatten. In hoofdstuk 2 wordt een mathematisch model van de inductiemachine geïntroduceerd. Gebaseerd op dit model worden in hoofdstuk 3 verschillende bekende regelstructuren voor inductiemachines beschreven. Uit deze regelstructuren blijkt, dat voor het nauwkeurig en effectief regelen van inductiemachines inderdaad nauwkeurige schattingen van de machineparameters nodig zijn. De meeste identificatiemethoden die in de literatuur beschreven worden zijn blackbox methoden. Dit wil zeggen dat aan de hand van gemeten data een model wordt geïdentificeerd zonder het fysische mechanisme van het systeem te beschouwen. Deze bekende black-box identificatietechnieken zijn beschreven in hoofdstuk 4. Het probleem beschreven in dit proefschrift is echter een zogenaamd grey-box probleem, omdat de parameters van een fysisch mo-

del geschat moeten worden. In hoofdstuk 5 worden den ook twee nieuwe grey-box identificatiemethoden geïntroduceerd. De eerste methode is een indirecte methode. Eerst wordt een black-box model geschat en daarna worden de black-box parameters getransformeerd naar fysische parameters. Bij de tweede, directe, methode worden de parameters, gebaseerd op de structuur van het fysische model, direct geschat. Hoewel deze directe identificatiemethode, in vergelijking met de indirecte methode een groter toepassingsgebied heeft. is ook meer rekencapaciteit nodig. In hoofdstuk 6 tot en met hoofdstuk 8 zijn drie nieuwe identificatiemethoden beschreven die machineparameters schatten. In al deze hoofdstukken is onderzocht hoe nauwkeurig de parameters in verschillende werkpunten van de machine bepaald kunnen worden. De methoden zijn uitgebreid getest op een machine in een proefopstelling, en verschillende validatietechnieken tonen aan dat de resultaten betrouwbaar zijn.

Hoofdstuk 6 beschrijft een identificatiemethode die de machineparameters identificeert terwijl de machine stil staat. Omdat de machine stilstaat kan de eenvoudig toepasbare indirecte identificatietechniek worden gebruikt. De vermogensomzetter in de aandrijving is gebruikt om de speciale testsignalen te genereren. Door het gelijkspanningsniveau van deze testsignalen te variëren is het mogelijk om de verzadigingsafhankelijkheid van de machineparameters te identificeren. Hoofdstuk 7 introduceert een identificatiemethode die toepasbaar is als de machine normaal in werking is. De spanningen en stromen worden, gebaseerd op de gemeten positie en voorkennis over de waarde van de statorweerstand, getransformeerd naar rotorcoördinaten. De getransformeerde signalen worden gebruikt om, met behulp van de indirecte methode, de rotorweerstand en de hoofd- en lekinductiviteit te schatten. In hoofdstuk 8 is een tweede identificatiemethode gepresenteerd die ook gebruikt kan worden tijdens normaal bedrijf van de machine . Deze methode heeft meer toepassingsmogelijkheden, maar vergt ook meer rekencapaciteit. Alle machineparameters, inclusief de statorweerstand, worden geschat met deze methode. Wanneer geen metingen van de mechanische positie of snelheid beschikbaar zijn, kan met deze methode ook de machinesnelheid samen met de parameters geschat worden.

SYNCHRONOUS MACHINE IDENTIFICATION BY A SIMPLE STEP-RESPONSE TEST

J.M. Vleeshouwers
8 juni 1998
Promotors: Prof.dr.ir. A.J.A. Vandenput, Prof.dr.ir. P.P.J. van den Bosch en dr.ir. M.J. Hoeijmakers

Windmolens zijn onderhevig aan voortdurend wisselende krachten. Hoe beter die krachten in de molen kunnen worden opgevangen, hoe goedkoper dat is, want dat betekent dat de constructie lichter kan worden. Er wordt daarom voortdurend gezocht naar wegen om de krachten in een molen te verkleinen. Een van de eenvoudigste manieren is deze: een gewone windmolen die elektriciteit opwekt kan maar op een snelheid draaien, omdat het elektriciteitsnet een vaste frequentie van 50 Hz heeft. Maar voor de krachten in een molen is het veel gunstiger als die zou kunnen versnellen en vertragen alnaargelang de wind harder of zachter waait. Dat kan gerealiseerd worden door de opgewekte elektrische energie eerst gelijk te richten, en daarna pas om te zetten in een 50 Hz wisselspanning. Aan dit systeem van generator, gelijkrichter en wisselrichter is aan de TUE vanaf de jaren 80 onderzoek gedaan. Dit onderzoek begon eenvoudig, maar gaandeweg werd het veelomvattender, omdat het systeem soms onverwacht gedrag vertoonde (oscillaties), maar ook omdat het steeds belangrijker werd te voorspellen hoe het systeem zich onder bepaalde omstandigheden zou gedragen. Om dat te kunnen doen, werd er een model (een wiskundige beschrijving) van het systeem gemaakt. Een van de knelpunten van dat model was, dat daarin parameters van de generator (een synchrone machine, of kortweg machine) voorkwamen, die we niet kenden. Daarom zijn we op zoek gegaan naar een eenvoudige techniek om de parameters van een gegeven machine te bepalen. d.w.z. om de machine te *identificeren.*

Dit proefschrift beschrijft het ontwerp en de evaluatie van de gevonden eenvoudige techniek voor de identificatie van synchrone machines: de *aangepaste stapresponsie* test, of wel in het Engels: *modified step-response (MSR) test.* De techniek wordt in dit proefschrift geëvalueerd aan de hand van twee synchrone machines van ongeveer 30 kVA, maar naar verwachting is hij bruikbaar voor machines van een breed vermogensgebied. In tegenstelling tot de meeste standaardtechnieken, is de MSR test niet gekoppeld aan een specifiek model van de machine. De test gaat uit van een stilstaande machine, heeft een bijzonder eenvoudige meetopstelling en een laag energiever-

bruik (< 0.1% van het nominale vermogen van de machine). De MSR test is ontwikkeld als hulp bij het modelleren van de synchrone machine met gelijkrichter, een systeem dat werd onderzocht vanwege zijn mogelijke toepassing in windenergie systemen met een variabel toerental. Vanwege deze kontekst heeft het gedrag van de synchrone machine met gelijkrichter gefungeerd als kapstok voor de evaluatie van de MSR test.

Oorspronkelijke ontwerp-eisen.
Vanuit het onderzoek naar de synchrone machine met gelijkrichter zijn de volgende eisen voor de identificatietechniek geformuleerd:

1. De techniek moet identificatie mogelijk maken van het dynamisch gedrag van machines van ongeveer 100 kVA, in een frequentiegebied van ongeveer 0.1 Hz – 10 Hz.
2. Met de techniek moeten de subtransiënte zelfinducties van de machine bepaald kunnen worden.
3. De metingen moeten een laag energieverbruik hebben.
4. De benodigde meetapparatuur meet compact zijn.
5. Metingen aan de klemmen van de machine moeten voldoende zijn.
6. De metingen moeten mogelijk zijn bij stilstaande machine.
7. Het aantal noodzakelijke metingen moet laag zijn.

Identificatie van synchrone machines
Uit de literatuur over identificatie van synchrone machines komt geen kant-en-klare oplossing naar voren. Ter voorbereiding van een oplossing toegesneden op onze eigen situatie, worden twee essentiële kanten van de identificatieprocedure in detail besproken: het model van het systeem dat geïdentificeerd meet worden (een synchrone machine), en de keuze van een *persistente* excitatie voor het identificatie-experiment. Een *stap-excitatie* blijkt een goed compromis te zijn tussen enerzijds persistente excitatie en anderzijds de mogelijkheid om algemene modellen te identificeren op basis van relatief kleine signalen en een eenvoudige meetopstelling.

De aangepaste stap-responsie test
Het concept van de stap-excitatie is de basis voor de *Modified Step-Response (MSR) Test.* In plaats van te proberen een *ideale* stap te genereren, wat in de literatuur wordt gepoogd, maar wat moeilijk te verwezenlijken is, wordt een benaderde stap gegenereerd door eenvoudigweg een gelijkspanningsbron van laag vermogen (bijvoorbeeld een accu) in te schakelen die verbonden is met twee statorklemmen. Zowel het excitatie-signaal als het responsie-signaal worden gemeten. De meetopstelling is erg eenvoudig, wat een belangrijk voordeel is in vergelijking met de meeste andere identificatietechnieken voor synchrone machines. De meetgegevens worden naar het frequentiedomein getransformeerd, en deze frequentiedomein-gegevens worden gebruikt om de overdrachtsfunkties te identificeren van de modellen van de twee assen van de machine.

Evaluatie van de MSR test
De MSR test wordt geëvalueerd in relatieve zin, door vergelijking met twee referentie tests (de DC-decay test en de Standstill Frequency-Response test), binnen de kontekst van het systeem van de synchrone machine met gelijkrichter. De procedure is als volgt. Twee 30 kVA machines worden geïdentificeerd met de drie tests. De machines worden vervolgens ingebouwd in een opstelling met een gelijkrichter, en dynamische metingen worden uitgevoerd. Met de modellen wordt het systeem eveneens gesimuleerd. Door vergelijking van het gesimuleerde met het gemeten gedrag worden conclusies getrokken over:

- het funktioneren van de MSR test vergeleken met de referentietests;
- het funktioneren van de combinatie van MSR test en het model van de synchrone machine met gelijkrichter, wat betreft het voorspellen van het gedrag van dit systeem.

De conclusie is dat de MSR test, de DC-decay test en de SSFR test alle drie vergelijkbaar functioneren: het is van ondergeschikt belang voor de simulaties welke van de drie tests wordt gebruikt. De eerste twee tests leveren bruikbare meetgegevens tot ongeveer 30 Hz, bij een signaal-ruisverhouding van 70 dB. De SSFR test bereikt met gemak een bandbreedte tot 250 Hz, maar bij vergelijkbare amplitudes van de excitatiesignalen is de kwaliteit van de test bij lage frequenties minder. Het belangrijkste verschil tussen de drie tests is de meetopstelling: de opstelling van de MSR test onderscheidt zich wat betreft kosten en gewicht van de apparatuur, meettijd en complexiteit. Vergelijking van de metingen met de simulaties laat met name stationaire verschillen zien. Dynamische verschillen zijn veel kleiner. Mogelijke oorzaken voor deze verschillen zijn ongemodelleerde aspecten van het systeem (hysterese, verzadiging, verwaarloosde spanningsvallen in het gelijkstroomcircuit), en de identificatie-procedure (te lage modelordes, de herhaalbaarheid van de test, weging). De onderwerpen die met de

identificatieprocedure te maken hebben, zijn gecontroleerd en mogen worden uitgesloten als oorzaak voor fouten: de simulatie is ongevoelig voor herhaald testen, voor de keuze van de modelorde, en voor weging. De enige uitzondering is de stator impedantie $Z_{di}(s)$: die is gevoelig voor variaties in de identificatieprocedure, en is eveneens een belangrijke factor in de respons van het systeem. De gevoeligheid kan worden teruggebracht door juiste maatregelen te nemen tegen aliasing.

Elektromagnetische interferentie (EMC)

* * *

ELECTROMAGNETIC COMPATIBILITY AND PRINTED CIRCUIT BOARDS

F.B.M. van Horck
4 juni 1998
Promotors: Prof.dr.ir. P.C.T. van der Laan, Prof.dr. P.J. Degauque en dr. A.P.J. van Deursen

Moderne elektronische apparatuur bevat tegenwoordig steeds meer snelle digitale elektronica. Elektrische storingen van buiten de apparatuur koppelen hoofdzakelijk via de kabels in. Anderzijds zal een gedeelte van de snelle signalen binnen in het apparaat via dezelfde kabels naar buiten koppelen. In het vakgebied elektromagnetische compatibiliteit (EMC) worden de relevante koppelingsmechanismen geanalyseerd. Het EMC-onderzoek beschreven in dit proefschrift heeft als doel de bestudering van de koppelingen tussen een printplaat (Engels: Printed circuit board, PCB) en zijn omgeving enerzijds en de koppelingen op de PCB zelf anderzijds. De analyse is gebaseerd op theorie en experimenten; de berekeningen en de ontwikkelde modellen worden in dit proefschrift geverifieerd aan vele metingen. De lineaire elektromagnetische koppelingen worden gegeven door een transferimpedantie. Deze transferimpedantie geeft het verband tussen de stoorstromen en de geïnduceerde spanningen veroorzaakt door deze stromen. Een common-mode (CM) stroom door een kabel koppelt o.a. via de transferimpedantie van de connector in. In dit proefschrift wordt een nieuwe, snelle en gevoelige meetopstelling gegeven ter bepaling van de transferimpedantie van connectoren.

Signaalstromen door de sporen van differential-mode (DM) circuits op een PCB met een continu aardvlak wekken via een gegeneraliseerde transferimpedantie een stoorstroom op in het CM-circuit. Dit CM-circuit words gevormd door het aardvlak, een "root metalen vlak in de nabijheid van de print en een kabel gemodelleerd als een 150 Ohm impedantie. De koppeling of overspraak van een DM-circuit op de print naar een ander DM-circuit kan eveneens beschreven worden met een transferimpedantie; de stroomverdeling in het aardvlak is zeer belangrijk voor deze overspraak. Eenvoudige analytische uitdrukkingen voor de transferimpedanties worden gegeven en zijn geldig zolang geen resonantie-effecten optreden. Dit houdt in dat deze uitdrukkingen geldig zijn voor lage frequenties en waardevol zijn voor een schatting van de EMC eigenschappen van PCB's. Berekeningen voor hoge frequenties worden uitgevoerd m.b.v. een transmissielijn-model (TL); benaderingen voor de TL parameters verhogen de snelheid van de berekeningen aanzienlijk. De snelle en efficiënte TL methode met analytische uitdrukkingen kan in principe geïmplementeerd worden in een PCB ontwerp-programma. Het programme client te waarschuwen als een layout tot een te grote CM-stroom zal leiden.

Halfgeleiders en IC's

* * *

THE SPIN-VALVE TRANSISTOR

D.J. Monsma
5 maart 1998
Promotor: Prof. dr. Th.J.A. Popma en dr. J.C. Lodder

Hoge dichtheid magnetische recording, magnetische random access geheugens, verplaatsings opnemers en stroomdetectie, kontaktloos schakelen and elektronische kompas toepassingen vereisen magnetisch veld sensoren met grote gevoeligheid. Het spin-valve effect (giant magnetoweerstand) wat in 1988 is ontdekt in magnetische metallische multilagen, bood een nieuwe vorm van magnetoweerstand met veelbelovende mogelijkheden. De naam duidt de fysische achtergrond aan: de magnetische lagen vormen magnetisch veld bestuurde kleppen voor elektronen met parallelle spin, wat leidt tot een lage weerstand wanneer een magnetisch veld wordt aangelegd. De weerstand wordt over het algemeen met een vierpuntsmethode gemeten, met de stroom in het vlak van de lagen. Nu. tien jaar later, is de eerste harde schijf op de markt gebracht waarin van dit principe gebruik maakt wordt. De leeskop vertoont een spin-valve effect van ongeveer 5%, wat de capaciteit van 16.8 Gbyte mogelijk maakt. Gebruik van het veel grotere loodrechte spin-valve effect was beperkt vanwege de extreem lage loodrechte weerstand van de atomair dunne multilagen. Onderwerp van dit proefschrift is de spin-valve transistor, welke we in 1995 geïntroduceerd hebben. Door de direkte vrije weglengte afhankelijkheid in de uitgang, maakt deze het mogelijk het dilemma van de lage weerstand te omzeilen. In de spin-valve transistor dient een magnetische multilaag als basis van een n-type silicium metaal basis transistor: via een emitter barrière worden elektronen de magnetische multilaag in geschoten, de collector barrière laat slechts ballistische elektronen door vanwege de hoek- en energie selectiviteit. Aangezien het aantal elektronen dat doorgelaten wordt exponentieel afhangt van diens vrije weglengte in de spin-valve basis, en gezien het feit dat de vrije weglengte hierin verandert met magneetveld op grond van het loodrechte spin-valve effect, is de collectorstroom veel sterker afhankelijk van een magneetveld dan in het geval van een in het vlak gemeten multilaag en kan voor magneetvelddetectie gebruikt worden. Aangezien de elektron energie van de geïnjecteerde elektronen gevarieerd kan worden door hetzij de Schottky barrière hoogte of de tunnel bias te veranderen, kan de spin-valve transistor gebruikt worden voor elektron spectroscopie. Omdat de elektron energie in de spin-valve transistor van dezelfde grootte is als de toestandsdichtheid van de 3d banden in Co, Ni en Fe, is een direkte inspectie van de spin afhankelijke bandenstructuur, wat het spin-valve effect veroorzaakt, mogelijk. Een transformatie van het tweekanaal model naar het elektron transport in de spin-valve transistor is opgesteld, en toont aan dat de relatieve collectorstroom verandering bijzonder groot kan worden, bijvoorbeeld een 5% in het vlak gemeten spin-valve kan meer dan 500% verandering in de collectorstroom van de spin-valve transistor veroorzaken. Verder is het mogelijk door de direkte vrije weglengte afhankelijkheid de spin afhankelijke vrije weglengten te meten, in tegenstelling tot de gebruikelijke weerstandsmetingen (in het vlak of loodrecht). In dit onderzoek zijn collectorstroomvariaties van meer dan 400% gemeten bij 77K en 15% bij kamertemperatuur, ondanks de nog matige kwaliteit van de spin-valve basis. Variaties groter dan 100% worden ook bij kamertemperatuur verwacht, indien goed funktionerende spin-valves gebruikt worden. Het grootste probleem was het groeien van een goed antiferromagnetisch gekoppelde Co/Cu spin-valve op oxyde vrij silicium. De magnetische veld afhankelijkheid en temperatuurafhankelijkheid blijken overeen te komen met de theoretische voorspellingen. We stellen voor om band gemanipuleerde spin valves te implementeren, om duidelijke elektron energie afhankelijkheden waar te nemen (zelfs inversie van het effect). Voor applicaties kan de absolute collectorstroomverandering ΔI vergroot worden door de laagdiktes en de structuur te optimaliseren. Een ongekoppelde spin-valve sandwich, bijvoorbeeld Co-Cu-NiFe, is hiervoor meer geschikt dan antiferromagnetisch gekoppelde structuren. De signaal-ruis verhouding van de spin-valve transistor is verrassend groot ondanks de

relatief kleine collectorstroom. Dit komt zowel door de afwezigheid van thermische ruis in de collectorstroom als door de kleine ingangsstroomruis van stroomversterkers. Voor het meten van kleine velden biedt de spin-valve transistor het voordeel dat het optimaal funktioneert niet zeer dunne magnetische lagen, wat de magnetische efficiency ten goede komt. Bovendien kan er vanwege het loodrechte elektronentransport een dikkere spacer laag gebruikt worden, wat een uitstekende ontkoppeling van de magnetische lagen mogelijk maakt. Een nadeel is dat de groei van de spin-valve op oxyde vrije halfgeleiders moet plaatsvinden (bij gebruik van Schottky barrières) en dat de dissipatie hoger is dan bij een eenvoudige weerstandsmeting.
Voor de preparatie van de spin-valve transistor hebben we een nieuwe techniek geïntroduceerd: direkt bonden van substraten gedurende depositie van een metaallaag, bij kamertemperatuur. Transmissie elektronen microscopie toont aan dat een bondgrensvlak afwezig is. Dit wordt veroorzaakt door rekristallisatie van de metaalfilm. De bondtechniek kan voor vele verticale transport ideeën gebruikt gaan worden, en vormt een permanente verbinding voor veeleisende adhesie toepassingen waarbij een extreem dunne, permanente, kamertemperatuur realiseerbare, chemische resistente, thermisch en elektrische geleidende en, niet magnetische materialen, een magnetische flux link vereist is.

STRUCTURAL TEST GENERATION FOR EMBEDDED ANALOG MACROS

V. Kaal
18 juni 1998

Het onderzoek dat is beschreven in dit proefschrift is geïnitieerd ten gevolge van de problemen die heersen bij de test generatie voor de (ingebedde) analoge delen geïntegreerde circuits (IC's). Die problemen spitsen zich toe op de groeiende kosten van het testen, de toenemende integratie van IC's en de daaruit voortvloeiende afnemende verhouding van het aantal testpoorten per component, en tenslotte de immer stijgende kwaliteitseisen. Traditioneel worden functionele tests gebruikt. Dit soort testen zijn gebaseerd op de specificatie en de typische toepassing van het IC. Er wordt daarbij niet gekeken naar de wijze waarop de schakeling is gerealiseerd. Structurele testen verschillen fundamenteel van functionele testen, en kunnen bijdragen aan het oplossen van het genoemde test probleem. Bij een structurele test wordt de gerealiseerde schakeling onderzocht en is de generatie van een test set gebaseerd op de detectie van een of meerdere gemodelleerde fouten. Een dergelijke aanpak biedt de mogelijkheid om test kwaliteit te kwantificeren middels een fout detectie percentage. In dit proefschrift worden de lokale fouten die kunnen ontstaan tijdens het productieproces en die de eigenlijke schakeling veranderen als basis genomen voor de definitie van een zogenaamde fouten lijst. Dit proefschrift beschrijft een methode om testen te genereren. Vele in de literatuur beschreven algoritmes komen neer op selecteren van testen uit een grotere initiële test set, gebaseerd op het vermogen van die testen om fouten te detecteren. De in dit proefschrift beschreven methode volgt een macro georiënteerde aanpak. Fouten bevinden zich meestal in één macro, waarbij de omliggende macro's correct zijn. De keuze voor het macro niveau heeft twee voordelen. In de eerste plaats kunnen test beschrijvingen op het macro niveau worden hergebruikt voor andere macro's van hetzelfde type. In de tweede plaats kunnen de omliggende macro's op hoog niveau worden gemodelleerd opdat het uitvoeren van fout simulaties beter mogelijk wordt. Om een nauwkeurige fout simulatie uit te kunnen voeren dient het fout model geplaatst te worden in een op het transistor niveau beschreven macro. De test generatie methode introduceert test configuraties als middel om testen op een flexibele manier te beschrijven met behulp van test parameters. Het uitvoeren van de generatie komt neer op het optimaliseren van de individuele test configuraties en het onderling vergelijken van het vermogen om fouten te detecteren.

Een nieuwe definitie voor de gevoeligheid van een test voor een specifieke fout wordt gebruikt voor de optimalisatie en selectie van test configuraties. Ten gevolge van een fout wijkt de responsie van een IC af van zijn nominale responsie. De responsie van een goed IC zal echter ook spreiding ten opzichte van de nominale responsie waarde vertonen. Deze laatste waarden zullen binnen een zeker venster liggen. De afstand tot de rand van dit venster, relatief ten opzichte van de grootte van het venster, wordt gebruikt voor de bepaling van de gevoeligheid van een test. De test parameters kunnen worden geoptimaliseerd naar deze test gevoeligheid. Een fout in de fouten lijst representeert een specifieke fout op een specifieke locatie in het IC. In werkelijkheid zal een fout op die locatie optreden met variaties in eigenschappen als de geleiding en afmeting. Dit is de zogenaamde impact van een fout. Test configuraties kunnen worden geoptimaliseerd voor verschillende waarden van de fout impact. Het blijkt zo te zijn dat dezelfde geoptimali-

seerde test wordt gevonden indien de impact van de fout laag is. Op basis van dit gegeven is het mogelijk de test generatie uit te voeren in een tweetal stappen. In de eerste stap worden alle test configuraties geoptimaliseerd voor een versie van een fout uit de fouten lijst met een lage impact. In de tweede stap worden de geoptimaliseerde tests geëvalueerd voor diverse waarden van de fout impact. Deze impact convergeert naar een waarde waarbij alleen de beste test in staat is de fout te detecteren. Aldus wordt een set van unieke test oplossingen voor de fouten in de lijst afgeleid. Een test set met een groot aantal testen is het gevolg, hetgeen ongewenst is. Het blijkt zo te zijn dat de optimale parameters van de gegenereerde testen de neiging hebben te groeperen. Een methode voor het samenvoegen van dit soort groeperende testen is ontwikkeld. De teruggang in test gevoeligheid en de toename van de nieuwe fout impact waarde die nog wel net kan worden gedetecteerd worden gebruikt als criteria. In de ingebedde situaties moeten macro's worden gestimuleerd en geobserveerd via een zogenaamd test pad. De verzameling van macro's in het test pad bepaald in zijn onderlinge samenhang hoe het praktische bereik voor de test parameters is. Een methode om de grenzen van dit bereik te bepalen is behandeld. Het responsie venster van het test pad met de correcte macro wordt beïnvloed door het gehele test pad. Voor het bepalen van de vensters zijn simulaties op transistor niveau nodig. Om deze efficiënter uit te voeren zijn twee methoden ontwikkeld voor het construeren van de vensters waarbij alleen simulaties van de individuele macro benodigd zijn. De test generatie methode is toegepast op twee test paden voor fouten in een ingebedde spannings-volger macro. Voor beide test paden zijn compacte test sets gegenereerd. In één van beide test paden was een extra test-ondersteunende macro opgenomen. De verbetering van de testbaarheid is aangetoond aan de hand van de fout impact waarden die konden worden gedetecteerd. De methode voor structurele test generatie is zeer CPU belastend. Enkele suggesties ter verbetering van de efficiëntie worden behandeld.

LOW THERMAL BUDGET TECHNOLOGY FOR POLY-(GE)SI THIN TRANSISTORS

J.B. Rem
5 spetember 1997
Promotors: Prof. dr. J.F. Verwey en dr. J. Holleman

Dit proefschrift beschrijft het onderzoek naar een proces met een laag thermisch budget voor de fabricage van dunne film transistoren JFT). De integratie met sensoren en de applicatie als driver elektronica in Liquid Crystal Displays (LCDs) beperkt de maximale proces temperatuur die kan worden toegepast. Dit wordt veroorzaakt door het gebruik van relatief goedkope glas substraten. Een hoge beweeglijkheid van de ladingsdragers is een vereiste van de driver elektronica om met de toenemende pixeldichtheid nog voldoende lading aan te kunnen voeren. Dit kan worden bereikt in polykristallijn silicium (poly-Si) maar dit materiaal heeft als nadeel dat te hoge procestemperaturen nodig zijn (>600^0C). Door toevoeging van het element germanium (Ge), dat een lagere smelttemperatuur heeft dan Si, wordt een legering verkregen met eigenschappen die liggen tussen die van Si en Ge en kan het thermisch budget worden verlaagd. De afgelopen vier jaar is gezocht naar depositie- en materiaalkarakteristieken die toepasbaar zijn in een TFT. Een TFT bestaat uit afwisselend geleidende en isolerende lagen materiaal die op een (willekeurig) substraat kunnen worden aangebracht. Dit is de grote kracht van TFTs. Het dragermateriaal is niet gebonden aan de Si wafer die onderdeel is van en dus noodzakelijk is in de geïntegreerde schakelingen (IC's). Tijdens de depositie speelt een aantal zaken een belangrijke rol. Ten eerste moet een er een kiem zijn, zodat het laagje kan beginnen met groeien. Ten tweede is het voor een zo groot mogelijke opbrengst noodzakelijk dat over het gehele substraat een zo uniform mogelijke dikte wordt aangebracht. Tenslotte is er de eis dat het depositieproces reproduceerbaar is.

In dat kader beschrijft hoofdstuk 2, in twee delen, het onderzoek naar de nucleatie van Ge_xSi_{1-x}, op glasoppervlak ($Si0_2$). In het eerste deel wordt beschreven dat nucleatie vaak wordt gekarakteriseerd door een zogenaamde incubatietijd. Een simpel model is opgezet dat de initiële groei beschrijft, van waaruit incubatietijden worden uitgerekend. Het laat zien dat, afhankelijk van de meetmethode die gebruikt wordt om de incubatietijd te bepalen, er grote verschillen in die incubatietijd meetbaar zijn. Geconcludeerd wordt dat de meetmethode van de incubatietijd goed moet worden omschreven bij de karakterisatie van nucleatieprocessen met een incubatietijd. In het tweede deel wordt de nucleatie van Ge_xSi_{1-x}, vergeleken met die van Si. Het blijkt dat Ge_xSi_{1-x}, veel moeilijker tot kiemvorming komt en veel harder groeit en daardoor bij polykristallijne depositie grotere korrels en een ruwer oppervlak geeft. Voor de isolatie van de (half)geleidende lagen is een diëlectricum nodig dat

bij lage temperatuur wordt gefabriceerd. Siliciumoxide (SiO_2) en siliciumnitride (SiN_x) zijn veel gebruikte dielectrica. De processen die gebruikt kunnen worden zijn bij atmosferische (APCVD) of verlaagde (LPCVD) druk, al dan niet geactiveerd met een plasma (PECVD) met (hoge) depositiesnelheden die minder geschikt zijn voor het beheerst deponeren van dunne films. Hoofdstuk 3 beschrijft de ontwikkeling van een proces voor een lage temperatuur oxide (LTO) met een lage depositiesnelheid. Een uniforme SiO_2 laagdikte (100 ± 3 nm) over 6 simultaan geproceste 3 inch Si wafers met een depositiesnelheid van 2.2 nm/min wordt bereikt door SiH_4 en O_2 te verdunnen met N_2. Verdichting in waterdamp wordt gebruikt om de elektrische karakteristieken van de SiO_2 te verbeteren. Voor een hoge beweeglijkheid van de ladingdragers is een perfect kristalrooster ideaal. In polykristallijn materiaal zijn echter korrelgrenzen aanwezig die voor een barrière zorgen en de beweeglijkheid verlagen. De kristallisatie vanuit de amorfe fase beïnvloedt de korrelgrootte en daarmee de korrelgrensdichtheid. Het kristallisatieproces met gebruik making van een horizontale buisoven en een Flash Rapid Thermal Proces (FRTP) reactor wordt beschreven in hoofdstuk 4. De buisoven produceert de grootste korrels in Ge_xSi_{1-x}, door de lage temperatuur terwijl het FRTP proces met de daarbij behorende hoge temperatuur flits resulteert in kleine korrels. Bovendien leidt het FRTP proces tot de vorming van extra defecten die een negatieve invloed hebben op de beweeglijkheid en daarmee op de device performance. De geoptimaliseerde processtappen van hoofdstuk 2, 3 en 4 worden in hoofdstuk 5 toegepast in de fabricage van Si en Ge_xSi_{1-x}, TFTs. De toevoeging van Ge leidt tot een verlaging van het thermisch budget dat noodzakelijk is voor de verschillende processtappen. Echter, devices gemaakt in polykristallijn Ge_xSi_{1-x} hebben een grotere mate van passivatie nodig dan vergelijkbare Si devices, hetgeen veroorzaakt wordt door de grotere defect dichtheid in deze legering. Het maakt de toepassing van polykristallijn Ge_xSi_{1-x} in laag thermisch budget geproceste TFTs moeilijker en daarmee minder interessant voor industriële gegadigden. Si TFTs met een maximale procestemperatuur van 550^0C hebben acceptabele elektrische eigenschappen met een lekstroom van 10 pA, een Ion/Ioff ratio van 10^6 en een mobiliteit van respectievelijk 7 en 0.3-3 cm^2/Vs voor n- en p-kanaals TFTs.

POLYCRYSTALLINE GERMANIUM-SILICON FOR ADVANCED CMOS TECHNOLOGIES

C. Salm
12 september 1997
Promotors: Prof. dr. P.H. Woerlee, Prof.dr. H. Wallinga en dr. J. Holleman

Dit proefschrift behandelt de toepassing van polykristallijn Germanium-Silicium (poly-GeSi) als gate materiaal in zeer kleine CMOS transistoren. De mogelijkheid om het verschil in werkfunktie, veroorzaakt door de lagere valentieband energie van GeSi in vergelijking met Si te benutten is onderzocht. Belangrijk is de mogelijkheid om dit materiaal te gebruiken in een Si-proces en het dient dan ook compatibel te zijn met zo'n proces. Het volledige proces van de depositie van de lagen, doteren via ionen implantatie, activatie en diffusie en de interactie met het onderliggende gate oxide is onderzocht en waar nodig geoptimaliseerd. Tenslotte is aangetoond dat het mogelijk is om sub-micron CMOS transistoren te maken met een poly-GeSi gate. De NMOS transistoren zijn vergelijkbaar met standaard Si transistoren. In de PMOS transistoren wordt het verschil in werkfunctie benut om de substraat doping te verlagen wat resulteert in een verhoogde stuur-stroom en een beter subthreshold gedrag. De resultaten die gepresenteerd worden in dit proefschrift tonen aan dat poly-GeSi vergelijkbare of betere materiaal en proces eigenschappen heeft dan poly-Si. Door PMOSFETS met een p+ gedoteerde poly-GeSi gate te combineren met een lager kanaal doping profiel zijn betere transistor eigenschappen te behalen.

In hoofdstuk 2 wordt de depositie in een LPCVD reactor besproken en de invloed van de groei condities op de morfologie en textuur van de lagen. Het deponeren van GeSi is moeilijker dan van Si omdat er meer parameters zijn. Verder verarmt het reactieve gas GeH_4 in de ovenbuis, er treden nucleatie problemen op en de groei is gevoeliger is voor oppervlakte-verontreiniging en schoonmaakprocedures. GeSi lagen die geschikt zijn als gate materiaal dienen bij lage temperatuur gedeponeerd te worden teneinde een (110) voorkeurs oriëntatie te verkrijgen die snelle diffusie langs grenzen van kolom vormige korrels mogelijk maakt en om een relatief glad oppervlakte krijgen. Een hoge depositie druk minimaliseert daarbij de nucleatie problemen. Natuurlijk moeten de condities zo gekozen worden dat een acceptabele groeisnelheid resulteert. Hoofdstuk 3 laat zien dat

Boor significant sneller en Arseen langzamer diffundeert in poly-Si dan in poly-GeSi. De elektrische activatie van Boor in GeSi en de verminderde deactivatie worden veroorzaakt door korrelgrenzen die meer p-type eigenschappen hebben en een hogere vaste oplosbaarheid van Boor in GeSi. Arseen activatie is moeilijker in GeSi door de p-type korrelgrenzen en een hogere segregatie van As naar de korrengrenzen. De deactivatie is vergelijkbaar in polyGeSi en poly-Si. De verschillen in diffusie en activatie zijn geen belemmering voor het gebruik van poly-GeSi als gate materiaal van MOSFETs.

Hoofdstuk 4 behandelt Fowler-Nordheim tunnel stromen en de betrouwbaarheid van gate oxides bij het gebruik van poly-GeSi gates. Voor BF_2+ gedoteerde (Si en GeSi) gates is de barrière hoogte van het oxide, ϕ_B, bij negatieve spanningen op de gate groter dan bij positieve spanningen. Dit wordt veroorzaakt doordat elektronen vanuit de valentie band tunnelen en veroorzaakt ten opzichte van n+ gates een verschil in ϕ_B van circa de bandgap (E_g). Door de kleinere E_g van GeSi is ook ϕ_B kleiner. Voor positieve spanningen en voor As+ gedoteerde gates is er geen verschil in ϕ_B tussen GeSi and Si. De totale lading tot doorslag (Q_{bd}) bij negatieve gate spanningen is voor p-type GeSi vergelijkbaar met p-type Si. In hoofdstuk 5 worden de eigenschappen van (sub-) 0.25 μm transistoren behandeld. Een verschil in werkfunctie ϕ_{ms}, van ~200 of 280 mV voor 30 of 45% Ge fractie is gemeten. De diffusie van Boor in en door het dunne gate-oxide is vergelijkbaar voor poly-Si en poly-GeSi gates. 0.25 μm NMOSFETs met een As+ gedoteerde Ge_x,Si_{1-x} gate en 5.6 nm dik gateoxide hebben vergelijkbare of betere elektrische karakteristieken dan vergelijkbare transistoren met poly-Si gates. 0.18 μm PMOSTs met BF_2+ gedoteerde $Ge_{0.3}Si_{0.7}$ gates met een lagere kanaal doping hebben dezelfde V_t, als devices met een poly-Si gate met een standaard kanaalimplantatie profiel. De lagere kanaaldotering resulteert in een verhoogde elektronenmobiliteit in het kanaal, een ~20% hogere stuur-stroom, verbetering van de verhouding tussen de stuur- en lek stromen (Ion/Ioff) en ~9% verbetering in de subthreshold swing. In alle gevallen is een goed korte kanaal gedrag geobserveerd.

---

* * *

A MEDICAL MICROACTUATOR BASED ON AN ELECTROCHEMICAL PRINCIPLE

C. Neaga
Promotor: Prof. dr. M.C. Elwenspoek, Prof. dr. J.J. Kelly en dr. J.G.E. Gardeniers

Glaucoma is een ziekte die schade aan het optische zenuwcentrum veroorzaakt door een te hoge oogdruk. Deze schade kan tot een beperking van het gezichtsvermogen leiden en uiteindelijk tot blindheid. De huidige medische behandeling verbetert de afvoer van de oogvloeistof door een afvoersysteem te implementeren in het oog. Het probleem is dat het niet mogelijk is het niveau van de oogdruk te voorspellen na de ingreep. Bovendien kan de oogdruk niet bijgesteld worden tot de optimale oogdruk van de patiënt. Een doorlopende bijregeling van de oogdruk zou de huidige behandeling van glaucoma aanzienlijk verbeteren en vereenvoudigen. Het doel van dit onderzoek is het ontwikkelen van een micromechanische actuator die gecombineerd kan worden met de bestaande glaucoma implantaten. Deze microactuator, die werkt als een soort actieve klep, zorgt ervoor dat de oogdruk continu geregeld wordt rond een gewenste waarde. De actuator doet dit door de uitwijking van een geïntegreerde membraan te regelen, waardoor de doorstroom van een vloeistofkanaal wordt bepaald. Voor het verkrijgen van een laag energieverbruik en de mogelijkheid tot gedoseerde toevoer, is er uiteindelijk gekozen voor een elektrochemische actuatie van de actieve klep. Deze actuator is gebaseerd op de elektrolyse van een electroliet op waterbasis. De omkeerbare elektrochemische reacties, die gestuurd worden door een externe stroombron, leiden tot de ontwikkeling van gas dan wel tot het verdwijnen ervan. De richting van dit proces (produktie of reductie) wordt bepaald door de stroomrichting. In een gesloten systeem zal de corresponderende gasdruktoename of afname gebruikt worden om de uitwijking van een buigzaam membraan te regelen en daardoor de doorstroom van een kanaal te bepalen. Als er geen stroom naar/van de elektrochemische cel stroomt zal de druk en dus de membraan uitwijking en kanaalweerstand, ideaal gezien, behouden blijven. Dit betekent dat er geen energie nodig is om de toestand van de doorstroomsnelheid vast te houden. Het is bewezen dat relatief hoge drukken (tot vele tientallen atmosfeer) en grote uitwijkingen mogelijk zijn met behulp van de

beschreven elektrochemische actuator terwijl het energieverbruik toch relatief laag is ten opzichte van andere actuatieprincipes. De microactuator mag compleet niet groter dan 5 x 5 x 2 mm^3 zijn en zal draadloos van energie voorzien worden. Dit gebeurt door middel van twee spoelen die inductief gekoppeld zijn; de ene zit in het oog en de andere bevindt zich er buiten.

DESIGN AND EVALUATION OF A HYBRID ORTHOSIS FOR PEOPLE WITH PARAPLEGIA

M.J. IJzerman en G. Baardman
21 november 1997
Promotor: Prof. dr. H.B.K. Boom, Prof. dr. G. Zilvord en dr.ir. H.J. Hermens

De heup-knie-enkel-voet-orthese, kortweg HKEVO, werd twintig jaar geleden geïntroduceerd als een hulpmiddel voor het herstel van de sta- en loopfunctie van mensen met een paraplegie. Met deze introductie werd de periode afgesloten, die in de vroege decennia van deze eeuw begon, waarin de enige voorziening voor het lopen van mensen met complete dwarslaesies de lange beenbeugel was (ook wel knie-enkel-voet-orthese of KEVO genoemd). Het ontwerp van de HKEVO stond een reciprook looppatroon toe en bood stabiliteit aan de romp. Het ontbreken van dit laatste was tot dan toe de reden geweest waarom het lopen voor mensen met thoracale laesies in geen geval mogelijk was. Sindsdien is wereldwijd in verschillende revalidatie-instituten veel ervaring opgedaan met het klinisch gebruik van dit type orthese. In principe zijn de twee HKEVO varianten die tegen het eind van de jaren '70 werden ontwikkeld nu nog steeds in gebruik. Uiteraard zijn tussentijds wel kleine veranderingen doorgevoerd in hun ontwerp, maar de principes hebben hun kracht en duurzaamheid bewezen. Hoewel de HKEVO voor mensen met thoracale laesies duidelijk voordelen biedt ten opzichte van de KEVO, heeft klinische ervaring uitgewezen dat de bruikbaarheid zeer beperkt is door (1) slechte gebruik(er)svriendelijkheid, (2) hoge inspanning tijdens het lopen en (3) slechte toepasbaarheid voor het opstaan en gaan zitten in een onaangepaste omgeving. Het is gebleken dat als gevolg hiervan veel, in eerste instantie enthousiaste, HKEVO-gebruikers hun orthese volledig aan de kant hebben gezet binnen twee jaar na ontslag uit het ziekenhuis of revalidatiecentrum. Genoemde klinische bevindingen hebben ons er toe bewogen om een nieuwe heup-knie-enkel-voetorthese te ontwikkelen, die een belangrijke verbetering teweeg moet brengen in de bruikbaarheid ten opzichte van bestaande HKEVO's. Belangrijke aspecten bij deze ontwikkeling waren bruikbaarheid, energiegebruik tijdens het lopen en de toepassing van electrostimulatie-strategieën voor het ondersteunen van functies. Wij hebben hierbij de voorkeur gegeven aan een empirische benadering van het ontwerp boven een theoretische. Voorafgaand aan de laatste ontwerpfase is in stappen het technische gedeelte van het ontwerp, namelijk het vaststellen van de specificaties, uitgevoerd, die elk zijn geverifieerd middels klinische evaluatiestudies. Door het kiezen van deze werkwijze kon voortdurend de afstemming tussen klinisch probleem en technische oplossing worden gecontroleerd. Dit proefschrift beschrijft elk van de ontwerpfasen en hun verificatie, en sluit af met de presentatie van de SEPRIX, een deelbare reciprocator met intelligente kniestabilisatie, het hoogtepunt van de werkzaamheden.

Hoofdstuk 1 introduceert de HKEVO, en het klinisch gebruik ervan, aan de lezer. Het probleem dat aan de basis ligt van de werkzaamheden die in het proefschrift worden beschreven, wordt beknopt behandeld, alsmede de onderbouwing van de empirische benadering van het ontwerp. Tenslotte wordt de opbouw van het proefschrift toegelicht. Het eerste deel van het proefschrift draagt de titel 'Aspects of hybrid system design', en behandelt de stapsgewijze definitie van de ontwerpspecificaties van de nieuwe HKEVO. Het bestaat uit een aantal vergelijkende studies, die de betekenis van 'state-of-the-art' functionele aspecten in het ontwerp met betrekking tot het staan en lopen onderzoeken. Hoofdstukken 2 en 3 beschrijven gezamenlijk een studie naar de invloed van de aanwezigheid van een reciproke koppeling van de heupscharnieren in een HKEVO, en zijn respectievelijk gericht op prestaties van het lopen en staan. In alle uitvoeringen van de Reciprocating Gait Orthosis (RGO) is een reciproke koppeling van de heupscharnieren aanwezig, in tegenstelling tot de ParaWalker orthese, die is uitgevoerd met vrij beweegbare heupscharnieren met een beperkt flexie-extensie-bereik. De reciproke koppeling heeft twee strijdige eigenschappen. Het voordeel van de koppeling is dat deze stabiliteit biedt aan de orthese-gebruiker tijdens staan en lopen, doordat bilaterale flexie of extensie van de heupen onmogelijk is. Een nadeel is dat de koppeling tussen stand- en zwaaibeen resulteert in een inefficiënte zwaaifase, doordat de massatraagheid van het standbeen en de romp wordt overgedragen op het zwaaibeen, waar-

door een vrije ballistische zwaai wordt verhinderd. Om te onderzoeken of de functie van een dergelijke koppeling in totaliteit gunstig is of niet, hebben wij een studie uitgevoerd waarin twee orthese-systemen (gebaseerd op de Advanced Reciprocating Gait Orthosis, de ARGO) werden vergeleken die, op de constructie van de heupscharnieren na, identiek waren. Zes proefpersonen met een complete thoracale dwarslaesie werkten aan dit vergelijkend onderzoek mee. De prestatie van het *lopen is* in deze studie vastgesteld door meting van het energiegebruik en krukkrachten. Verschillen tussen de ARGO en de A_GO (de ARGO zonder reciproke kabel-koppeling) in het energiegebruik varieerden tussen proefpersonen met lage laesies en proefpersonen met hoge laesie-niveaus. Deze heterogeniteit resulteerde in een onvoldoende statistische *power* om verschillen in de belangrijkste uitkomstvariabelen te kunnen vinden. Individuele analyse van de resultaten bracht echter aan het licht dat proefpersonen met een lage laesie mogelijk kunnen profiteren van een orthese zonder reciproke koppeling, terwijl proefpersonen met hoge laesie-niveaus dit zeker niet kunnen. Geen van de proefpersonen, met hoge noch lage laesies, prefereerde de A-GO echter voor de dagelijkse gebruikssituatie. De sta-prestatie is vastgelegd in termen van de beweging van het aangrijpingspunt van de grondreactiekracht (de *centre-of-pressure)*, het vermogen van de proefpersonen om het evenwicht te herstellen na balansverstoringen en de prestatie in een handfunctie-test. In de A - GO stonden de proefpersonen òf met geflecteerde heupen, waarbij de flexie werd begrensd door het heupscharnier, òf in een geëxtendeerde houding, de zogenoemde *C-posture*. In de studie werden geen verschillen gevonden tussen de sta-prestaties in een van deze twee houdingen enerzijds en de verticale stahouding die de ARGO oplegt, anderzijds. Wel werd een sterke indicatie gevonden van verhoogde krukkracht die in de A - GO benodigd was om het lichaam in balans te houden (95 % betrouwbaarheids-interval: [-1%, +74%]). In overeenstemming hiermee werd gevonden dat alle proefpersonen een sterke voorkeur gaven aan het staan in de ARGO.

De resultaten van deze studies pleiten sterk in het voordeel van de reciproke heupscharnierkoppeling. Theoretische studies met betrekking tot het ontwerp van de ParaWalker orthese suggereren dat de uitlijning in het frontale vlak van de KEVO-secties van een FIKEVO in lichte abductie het vrijmaken van het zwaaibeen vereenvoudigt, en dat dit gepaard gaat met een afname van tijdens het lopen benodigde krukkrachten. Wij hebben onderzocht of deze theorie in de praktijk wordt bevestigd in een vergelijkende studie, die is beschreven in Hoofdstuk 4. Het eerste deel van deze studie was gericht op het bepalen van de optimale uitlijning bij vijf proefpersonen met een complete paraplegie op basis van krukkracht-metingen en subjectieve bevindingen. De voorkeurswaarde voor de uitlijning, die werd bepaald door de heupscharnieren van de ARGO van de proefpersonen te wijzigen, was neutraal bij één proefpersoon en 3' abductie bij de vier anderen. In het tweede gedeelte van deze studie is een vergelijking uitgevoerd op basis van krukkracht-metingen en meting van het energiegebruik tussen de optimaal uitgelijnde orthese (Abductie Orthese) en de standaard ARGO (6^0 adductie). De piekkracht, uitgeoefend op de kruk aan de zijde van het standbeen, was in de Abductie Orthese significant lager (ongeveer 12%) dan in de ARGO. De reductie in de piekkracht aan zwaaibeen-zijde (5 %) was niet significant. Er werd geen verschil gevonden tussen beide orthesen in zuurstof consumptie en zuurstof kosten, terwijl de loopsnelheid hoger lag in de Abductie Orthese. Uit deze studie werd geconcludeerd dat een neutrale of licht geabduceerde uitlijning van de beensecties van een FIKEVO valt aan te bevelen. Hoofdstukken 5 en 6 onderzoeken de haalbaarheid van knieflexie tijdens de zwaaifase van het lopen in een orthese van mensen met een paraplegie. Voor dit doel hebben wij een ARGO-achtige test-orthese ontwikkeld, waarin een mechanisme is ingebouwd voor de besturing van de blokkering van het kniescharnier. In Hoofdstuk 5 werd deze orthese beproefd door twee proefpersonen teneinde de bruikbaarheid van knieflexie, en de invloed van knieflexie op kinematica, kinetica en energiegebruik van het lopen vast te stellen. Naar de mening van de proefpersonen zou knieflexie praktische betekenis kunnen hebben voor het lopen op oneffen terrein. Bovendien vonden beiden de cosmetiek van het lopen verbeterd. Knieflexie bleek sterk afhankelijk te zijn van loopsnelheid en de bereikte maximale flexiehoeken waren veel kleiner dan normaal (de kniehoek bij een proefpersoon nam een maximum aan van ca. 400 bij een loopsnelheid van ca. 0.6 $m.s^{-1}$). Er werd geen eenduidige invloed van knieflexie op de kinematica of kinetica van het lopen gevonden. Zuurstof consumptie was significant hoger in één proefpersoon, en significant lager in de andere. Deze resultaten waren aanleiding om te studie een vervolg te geven, waarbij de orthese werd ondersteund met elektrostimulatie van de hamstrings en quadriceps spiergroepen. Hoofdstuk 6 beschrijft de resultaten van twee aanvullende case-studies, die werden uitgevoerd om te onderzoeken of de matige prestatie van het knieflexie-mechanisme tijdens pas-

sieve zwaai in de mechanische test-orthese kon worden verbeterd door deze ondersteuning. Bij één proefpersoon kon een electrostimulatie-besturing worden geïmplementeerd die effectief bleek: de maximale knieflexie-hoek werd vergroot van 200 naar 401 bij een loopsnelheid van 0.2 m.s-l. De krukkracht die tijdens de standfase werd uitgeoefend werd significant, zij het slechts een aantal procenten, lager. Spastische activiteit van de quadriceps maakte het bij de tweede proefpersoon onmogelijk om een ondersteuning van de zwaaifase te realiseren, waardoor geen invloed op kinematica of kinetica werd gevonden. In totaliteit werd uit beide studies de conclusie getrokken dat knieflexie een bescheiden toegevoegde waarde aan een HKEVO kan geven, waarschijnlijk niet zozeer met betrekking tot het energiegebruik tijdens het lopen, maar veeleer door de bruikbaarheid te vergroten. Geavanceerde electrostimulatie- besturingsstrategieën kunnen de effectiviteit van knieflexie verder doen toenemen. Het tweede deel van dit proefschrift, getiteld 'Assessment methodology', richt zich op basale eigenschappen van vergelijkende studies van (hybride) loopsystemen voor mensen met een paraplegie. Het doel van dit deel is om eisen vast te stellen die in dit verband aan het ontwerp van klinisch-evaluatieve studies dienen te worden gesteld. Onder andere wegens de hoge kosten van apparatuur voor de meting van zuurstofópname, de gouden standaard voor bepaling van het energiegebruik van het lopen, worden in veel gepubliceerde vergelijkende studies alternatieve meetmethoden voor dit doel aangewend. De belangrijkste uitkomstvariabelen die worden beschreven zijn de Physiological Cost Index (PCI), een afgeleide maat van hartfrequentie-metingen, en krukkracht.

Hoofdstuk 7 bestudeert de waarde van deze uitkomstvariabelen. De in dit hoofdstuk gepresenteerde studie beoogde (1) antwoord te geven op de vraag of de PCI en krukkracht zinnige uitkomstmaten zijn voor klinische studies, en (2) vast te stellen of een bepaalde uitkomstvariabele de voorkeur geniet boven andere voor wat betreft reproduceerbaarheid en responsiviteit. Twee aspecten van validiteit werden hierbij onderzocht, namelijk *cross-sectionele* en *longitudinale* validiteit (de laatste staat bekend onder de term *sensitivity to change)*. Uit redenering en verificatie bleek dat de berekening van de correlatie tussen PCI (HR_{SS}-HR_{rest}/v) en zuurstof kosten ($E_{02}=V_{02}/v$) onderhevig is aan statistische vertekening, doordat beide grootheden tot stand komen via deling door de loopsnelheid (v). Om deze reden werd de toepassing van HR_{SS}-HR_{rest} respectievelijk V_{02} in deze studie als correcter beschouwd. De correlatie tussen de laatste twee grootheden, die werd bepaald door analyse van gegevens van tien proefpersonen met een complete thoracale paraplegie, werd vastgesteld op 0.86, en gaf aan dat PCI een gevoelige grootheid is voor detectie van verschillen in de gouden standaard, V_{02}. Andere uitkomstvariabelen bleken betere reproduceerbaarheid en responsiviteit te hebben dan de PCI. De *smallest detectable difference,* het kleinste verschil dat kan worden gedetecteerd door een bepaalde uitkomstvariabele, was ongeveer 42% voor de PCI, tegenover 30% voor E_{02}. Beoordeling van uitkomstvariabelen op basis van de benodigde grootte van een studiepopulatie om een van tevoren bepaald verschil te kunnen vaststellen, leidde tot de conclusie dat hierbij loopsnelheid en krukkracht gunstig afsteken. Veel metingen in de context van gepubliceerde systeem-vergelijkingen zijn uitgevoerd bij een door de proefpersoon zelf bepaalde loopsnelheid. Niet zelden wordt hierbij een verschil gevonden tussen de voor beide systemen gekozen loopsnelheden, dat verantwoordelijk kan zijn voor (een deel van) de verschillen in de uitkomstvariabelen. Dit fenomeen wordt *confounding* genoemd en is onderwerp van studie in Hoofdstuk 8. De invloed van loopsnelheid op een aantal veelgebruikte uitkomstvariabelen werd bestudeerd middels loopband-experimenten bij vijf proefpersonen met laag-thoracale laesies. Zuurstofconsumptie en -kosten bleken sterk afhankelijk te zijn van de loopsnelheid. Krukkrachtparameters werden minder beïnvloed, met uitzondering van de kracht-tijd integraal. De conclusie die zich aandient in deze studie is dat de invloed van loopsnelheid serieus in ogenschouw dient te worden genomen bij het ontwerp en de analyse van vergelijkende studies. Omdat, gezien het kleine aantal proefpersonen dat gewoonlijk bij dit type studies is betrokken, vertekening en zeker effect-modificatie niet nauwkeurig kunnen worden vastgesteld, verdient standaardisatie van de loopsnelheid nog de voorkeur. *Interne validiteit, statistische conclusie-validiteit,* en *externe validiteit* zijn kernbegrippen bij het ontwerpen van klinische studies. In Hoofdstuk 9 wordt een overzicht gepresenteerd van gepubliceerde vergelijkende studies op het gebied van (hybride) loopsystemen, waarbij de nadruk ligt op deze kernbegrippen. Van de uit verscheidene gegevensbestanden geselecteerde publicaties bleken twaalf geschikt voor analyse in dit verband. De meeste van deze studies waren niet intern valide, omdat zij eenvoudige voor-na metingen presenteerden zonder daarbij rekening te houden met a-specifieke effecten (training- of test-effecten die (deels) verantwoordelijk zouden kunnen zijn voor gevonden verschillen). Een

zorgelijke bevinding was dat de statistische *power* in geen van de studies hoger was dan 50% door onvoldoende precisie van de resultaten (brede 95% betrouwbaarheids-intervallen voor gemeten verschillen). Een belangrijke oorzaak hiervoor werd gevonden in het aantal proefpersonen dat bij deze studies betrokken was, gewoonlijk tussen 4 en 6.
Om vergelijkende studies met betrekking tot (hybride) loopsystemen te versterken, wordt als suggestie aangedragen om *multi-centre* studies uit te voeren of om verscheidene kleinere studies statistisch samen te voegen *(pooling)*. Verder wordt aanbevolen om het gebruik van *tijdreeksanalyses* te onderzoeken, daar deze een goede interne validiteit en statistische power in zich verenigen.

In het laatste deel van dit proefschrift, 'Design of a new hip-knee-ankle-foot-orthosis', ontmoeten de resultaten van het in de eerste twee delen beschreven onderzoek elkaar in het ontwerp van een nieuwe, deelbare reciprocator met intelligente knie-stabilisatie voor mensen met een paraplegie (de SEPRIX). Hoofdstuk 10 beschrijft de functionele specificaties en ontwerp-eigenschappen van deze nieuwe orthese. Het belangrijkste doel bij het ontwerp van de SEPRIX was de verbetering ten opzichte van bestaande orthesen van de bruikbaarheid. Hoog gebruiks- en draagcomfort waren hierbij de twee belangrijkste doelen, naast een zo laag mogelijk energiegebruik. Deels gebaseerd op *state-of-the-art* technologie is de SEPRIX een lichtgewicht orthese met een open structuur, met voor een HKEVO gebruikelijke constructiedelen. Een mechanisme voor de automatische besturing van het kniescharnier is in de orthese geïntegreerd, dat de knie stabiliseert tijdens de standfase van het lopen en knieflexie mogelijk maakt tijdens de zwaaifase. Tevens is een enkelscharnier toegepast, dat afwikkeling van de voet, door plantairflexie in de vroege standfase, toestaat. De SEPRIX ontleent zijn naam aan een mechanisme bij het kniescharnier dat scheiding *(separation* in het Engels) van de rompsectie van de beide onderbeensecties mogelijk maakt, om aan- en uittrekken te vereenvoudigen. De onderbeensecties zijn ontworpen op langdurig dragen. De SEPRIX kan eenvoudig worden gehanteerd door zijn zeer lage gewicht (4 kg.). Onbelemmerd transport in de rolstoel is mogelijk doordat de rompsectie kan worden opgevouwen tot een pakket dat kan worden opgehangen aan de achterzijde van de rolstoel. Voorlopige gebruikservaringen van vier proefpersonen geven aan dat de SEPRIX een veelbelovende orthese is voor mensen met een thoracale paraplegie, die hoge gebruiksvriendelijkheid combineert met state-of-the-art functionaliteit. Hij biedt bovendien een uitstekende basis voor toepassing als hybride systeem. Uitvoerig klinisch onderzoek in het verlengde van de eerste gebruikerstests zal verder inzicht verschaffen in de specifieke voordelen van de SEPRIX en wordt aangemoedigd als eerste stap in de verdere verbetering van het ontwerp.

Overige onderwerpen

* * *

LINEARIZATION OF ELECTROACOUSTIC TRANSDUCERS

H. Schurer
6 november 1997
Promotors: Prof.dr.-ing O.E. Herrmann en dr.ir. C.H. Slump

De ideale elektro-akoestische omzetter zet elektrische signaalenergie om in akoestische signaalenergie zonder het signaal aan te tasten. In de praktische realisatie van dit soort transducenten, beter bekend als "luidspreker" is dit niet haalbaar, en zal het akoestische signaal altijd vervormt worden weergegeven. De meest bekende vervorming is het niet "vlak" zijn van de frequentie responsie (lineaire vervorming). Hiernaast treden er echter ook niet-lineaire vervormingen op. Dit resulteert in de toevoeging van hogere harmonischen en intermodulatieproducten aan het akoestische uitgangssignaal. Deze vervormingen verslechteren de weergave van muziek en spraak. Naast dit bekende toepassingsgebied van audio reproductie, wordt de elektro-akoestische omzetter ook in veel andere gebieden toegepast. In actieve lawaaibestrijding bijvoorbeeld, reduceert het optreden van niet-lineaire vervormingen de effectiviteit van de lawaaireductie omdat extra akoestische energie wordt toegevoegd op ongewenste frequenties. Daarom wordt er tegenwoordig een compromis gesloten door meer of grotere omzetters te gebruiken. Indien de ruimte voor het aanbrengen van luidsprekers echter beperkt is, voldoet deze oplossing niet meer. In hands-free telecommunicatie apparatuur begrenst niet-lineaire vervorming de maximaal haalbare akoestische echo reductie, en daarmee de verstaanbaarheid van spraak. Net als bij de actieve lawaaibestrijding neemt men hierbij aan dat de omzetter een lineair systeem is, hetgeen resulteert in een niet opti-

maal regelsysteem. In dit proefschrift identificeren we de belangrijkste niet-lineaire effecten in de meest toegepaste elektro-akoestische omzetter: de elektrodynamische luidspreker. De drie meest gebruikte akoestische configuraties worden hierbij beschouwt: de gesloten behuizing, de bas-reflex behuizing en de hoorn. De oorzaken van niet-lineariteiten kunnen natuurlijk worden gereduceerd door het aanbrengen van verbeteringen in het ontwerp van de omzetter. Zulke aanpassingen resulteren echter in een ingewikkelder (meestal groter) en daarom duurdere omzetter. Daarom wordt in dit proefschrift een andere oplossing voorgesteld. Op basis van elektrische netwerk elementen worden fysisch equivalente modellen ontwikkelt. Op basis van deze modellen worden drie concepten uitgewerkt om niet-lineair systeemgedrag te reduceren door middel van een vooruitregeling geïmplementeerd op een Digitale Signaal Processor (DSP). Alhoewel een vooruitgeregelde oplossing belangrijke voordelen heeft zoals het ontbreken van sensoren, heeft het als nadeel een grotere gevoeligheid voor model onzekerheid. Daarom wordt er aandacht besteed aan de robuustheid van de compensatoren hiervoor. Omdat de compensatoren worden afgeleid vanuit continue tijd modellen, is een belangrijke stap het discretiseren van het algoritme om implementatie op een DSP mogelijk te maken. Daarom wordt er tevens aandacht besteed aan de dynamische elementen voor een digitale realisatie. Na de analyse en de synthese van lineariserende compensatoren zijn de drie concepten real-time geimplementeerd op een floating-point DSP. De resultaten behaald met de compensatoren zoals beschreven in dit proefschrift tonen aan dat het haalbaar is om niet-lineair systeemgedrag van elektro-akoestische omzetters te reduceren met vooruitgeregelde compensatoren. De relatieve vervorming wordt hierbij met maximaal 20% gereduceerd tot waarden beneden de 2% in geval van een luidspreker in een gesloten kast. Met compensatie van vervorming in hoornluidsprekers zijn reducties behaald van maximaal 15%.

In Memoriam

Op 21 november 1998 is **dr. M.E.J. Jeuken** onverwacht overleden. Hij is 63 jaar geworden en was als Universitair Hoofddocent in de groep Elektromagnetisme van de faculteit Elektrotechniek aan de Technische Universiteit Eindhoven verantwoordelijk voor het onderwijs en onderzoek op het gebied van antennes. Martin Jeuken heeft altijd een actieve rol binnen het NERG gespeeld en is dan ook in de periode 1980 tot 1986 voorzitter geweest van het NERG.

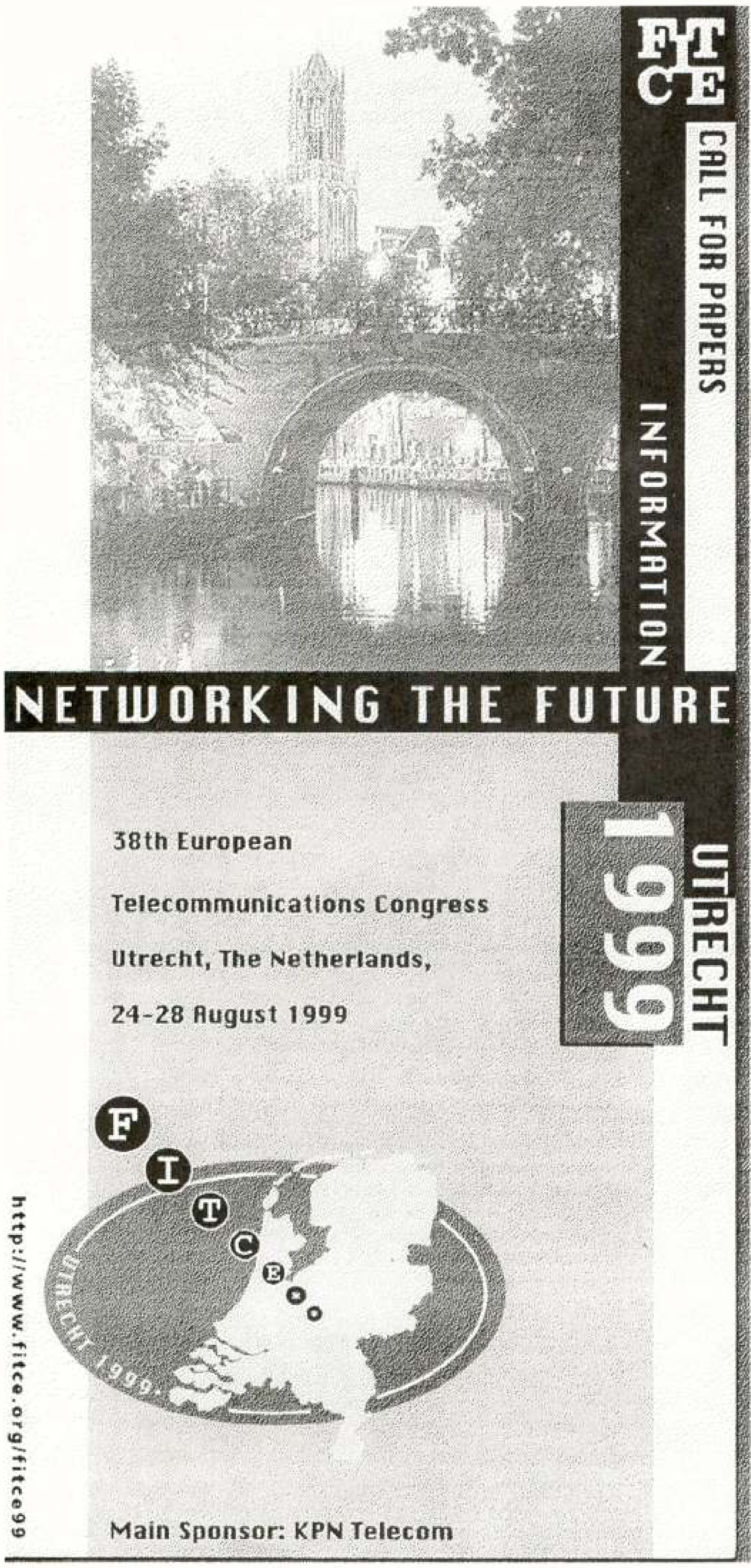
Martin Jeuken trad op 1 september 1961 in dienst van de Technische Universiteit Eindhoven, als wetenschappelijk medewerker. Vrijwel vanaf het begin hield hij zich bezig met de modellering en het ontwerp van antennes. Het werk aan gegroefde hoornantennes ondervond internationaal grote waardering. Via ESA/ESTEC werd een van de eerste derde geldstroom contracten van de TUE binnengehaald. Twee van zijn publicaties zijn opgenomen in de bundel *Electromagnetic Horn Antennas*, die in 1976 verscheen in de IEEE Press Selected Reprint Series. De radiotelescopen van ASTRON in Dwingeloo draaien al tientallen jaren op door Martin Jeuken ontwikkelde hoornantennes. Verder was hij de drijvende kracht achter de realisatie van het antennelaboratorium. Hij heeft in de loop der jaren tientallen ingenieurs opgeleid in het vakgebied antennes. Opmerkelijk was dat hij met bijna alle oud-afstudeerders contacten onderhield, waardoor een hecht netwerk ontstond van antennespecialisten.
Ook de laatste jaren deed Martin Jeuken van zich spreken. Het idee dat zijn promovendus Guido Dolmans in samenwerking met Philips ontwikkelde voor een nieuwe mobiele telefoon haalde de voorpagina's van de landelijke pers en het NOS journaal. Afstudeerders die bij Hollandse Signaalapparaten met Martin Jeuken en zijn oud-promovendus Bart Smolders werkten aan de modellering van antenne arrays ontvingen de Mignot Prijs 1996 en de Civi Afstudeerprijs 1998.

Ook op bestuurlijk vlak had Martin grote verdiensten. Gedurende zijn carrière was hij onder meer vertegenwoordiger van de VAWO, lid van het OPTUE, voorzitter van het NERG, bestuurslid van de faculteit, voorzitter van de Vaste Commissie voor de Wetenschapsbeoefening, lid van de vertrouwenscommissie van de faculteit Elektrotechniek.

Martin Jeuken was een markante persoonlijkheid. Door zijn vlinderdasje, zijn sigaartje en zijn humor was hij voor velen herkenbaar. Als je hem beter leerde kennen was hij een beminnelijke persoonlijkheid, met veel relativeringsvermogen en aandacht voor de medemens. Hij werd terecht de "pater familias" van de faculteit Elektrotechniek genoemd. We verliezen in hem een deskundig en ervaren onderzoeker, een inspirerend docent en bovenal een geboren leermeester.

prof. dr. A.G. Tijhuis
dr. ir. A.B. Smolders

INHOUD



Papers are invited exploring the technical and commercial aspects of this theme.
Topics covering this theme could include:

- new technologies (ATM, TCP/IP 4-6, IP Switching, Voice/Fax/Video over IP, Multimedia)
- internet as the new converged platform for electronic communication and commerce
- service development (customer driven, technology controlled)
- purchase, design and manage global networks (new suppliers, outsourcing)
- service- and business management (customer controlled, end-to-end)
- legal opportunities and bottlenecks (DG IV and/vs DG XIII)
- liberalization, deregulation, re-regulation after 1.5 years of open market.

CALL FOR PAPERS

More information

- Updated information about the congress will be available by visiting: **http://www.fitce.org/fitce99**

- Authors are requested to submit an abstract of 200-400 words. Abstracts must be submitted in the English language and should be previously unpublished. Abstracts must be sent by **1 march 1999** to

  KIVI, Congresbureau,
  Postbus 30424, 2500 GK Den Haag,
  The Netherlands.
  Telephone: +31 70 391 9890;
  Facsimile: +31 70 391 9840;
  e-mail: congres@kivi.nl (plain text only).

- Please include your name, date of birth, address, telephone and facsimile numbers as well as e-mail address, and affiliation.

- The abstracts will be reviewed by the International Paper Selection Committee for relevance, technical content and

FIRST INTERNATIONAL SYMPOSIUM
PHYSICS in SIGNAL and IMAGE PROCESSING

Optimizing Signal & Image Processing by Adequate Modelling Sensors and of their Environments

ENST (PARIS) • 18-19 January 1999 • FRANCE

ORGANISED BY

SEE (Société des Electriciens et des Electroniciens) - Club 29 (Signal & Image Processing)

SPONSORED BY

AEI, EUREL, IEE, IEEE (Region 8, Signal Processing & French Section) & VDE
The French CNRS is associated with this event, through Program ISIS (Infomation. Signal, Image, Vision).

OBJECTIVE

A critical element in the performance of any **signal or image processing** method is the validity and the accuracy of the underlying **scene and sensor of modelling** - backgrounds, contrasts, fluctuations, speckle, propagation, disturbances and jammers, sensor calibration, etc... Modern **adaptive processing** methods and high speed processors can indeed take full advantage of any **suitable physical description** of the received signals. The accuracy of this physical description and its adequation to the signal processing technique becomes an essential challenge for sensor design, in the different fields of application - from medical to military, using radar, acoustic, optronic, seismic sensors, etc...

This physical analysis of sensors will emphasize the growing similarities or communalities between signal and image processing, for instance in SAR image classification, phase conjugation, or fusion techniques.

This workshop, to be held **every two years, beginning in 1999**, will explore this diverse area mixing physics, signal and image processing, and sensor design, for a **better adequation of signal processing to the characteristics of the sensor, and to the actual situation and operational needs**.

ORGANISATION

The thematics and organisation of PSIP Workshops are driven by an International Steering Committee. The Scientific Committee is in charge of the Call for Papers and the reviewing and selection of submitted abstracts. The implementation and overall effectiveness of operation is ensured by the Organising Committee.

SEE - PSIP
48 rue de la Procession
75724 PARIS Cedex 15
FRANCE

tel: +33 1 44 49 60 17
fax: +33 1 44 49 60 44

Tijdschrift van het Nederlands Elektronica- en Radiogenootschap deel 63-nr.5-1998

DONATEURS VAN HET NEDERLANDS ELEKTRONICA- EN RADIOGENOOTSCHAP

ALCATEL ALCATEL Nederland BV Postbus 3292 2280 GG Rijswijk	PHILIPS Natuurkundig Laboratorium Postbus 80.000 5600 JA Eindhoven
ERICSSON Ericsson Telecommunicatie B.V. Postbus 8 5120 AA Rijen	ROHDE & SCHWARZ Nederland B.V. Postbus 1315 3430 BH Nieuwegein
HEWLETT® PACKARD Hewlett-Packard Nederland B.V. Postbus 667 1180 AR Amstelveen	SIEMENS Siemens Nederland N.V. Postbus 16068 2500 BB 's Gravenhage
kpn research Postbus 421 2260 AK Leidschendam	Telpro+ Telecommunicatie Telpro plus BV Postbus 9433 1006 AK Amsterdam
LIBERTEL Libertel BV Postbus 1500 6201 BM Maastricht	TNO TNO Fysisch en Elektronisch Laboratorium Postbus 96864 2509 JG 's Gravenhage
NKF KABEL NKF KABEL B.V. Postbus 26 2600 MC Delft	Stichting Wetenschappelijk Radiofonds Veder Rotterdam
Verder in de elektrotechniek VEV/ELEKTROTECHNISCH VAKONDERWIJS Postbus 275, 3860 AG Nijkerk	**Hollandse Signaal Apparaten B.V.** Postbus 42 7550 GD Hengelo

Druk: Drukkerij Van Ek